Mikroprocesorska elektronika

Predavanje IX

Sadržaj predavanja

- Tajmeri i brojači
- Tajmeri i brojači unutar mikrokontrolera 8051

Tajmeri i brojači

Tajmeri i brojači I

- Tajmeri i brojači su jedni od najkorisnijih i najčešće prisutnih hardverskih resursa unutar mikrokontrolera

- Tajmeri i brojači su značajni zbog toga što većina embeded sistema radi u realnom vremenu i reaguje na događaje u vom okruženju te je stoga neophondno imati mogućnost merenja proteklog vremena, odnosno broja detektovanih događaja

- Neke od najčešće korišćenih aplikacija tajmera i brojača su:
  - Watchdog tajmeri
  - Interval tajmeri
  - Brojači događaja
  - Satovi realnog vremena
  - Generatori PWM (Pulse Width Modulation) signala
  - Baud rate generatori

Tajmeri i brojači II

- Mikrokontroleri obično uključuju jedan ili više tajmerskih modula kao periferijske jedinice koje su integrisane na istom čipu sa procesorom
- Tajmeri su obično visoko konfigurabilni, kako bi ih korisnik lako mogao prilagoditi svojoj konkretnoj potrebi
- Tajmeri po pravilu mogu da generišu zahteve za prekidom
- Neki od tajmera imaju mogućnost čuvanja podatka o tačnom vremenskom trenutku pojave odgovarajućeg događaja u sistemu
- Koristeći tajmere i pravilno ih konfigurišući, projektant embeded sistema može u značajnoj meri rastereti centralni procesor dugačke liste zadataka koji uključuju merenje i manipulaciju vremenom

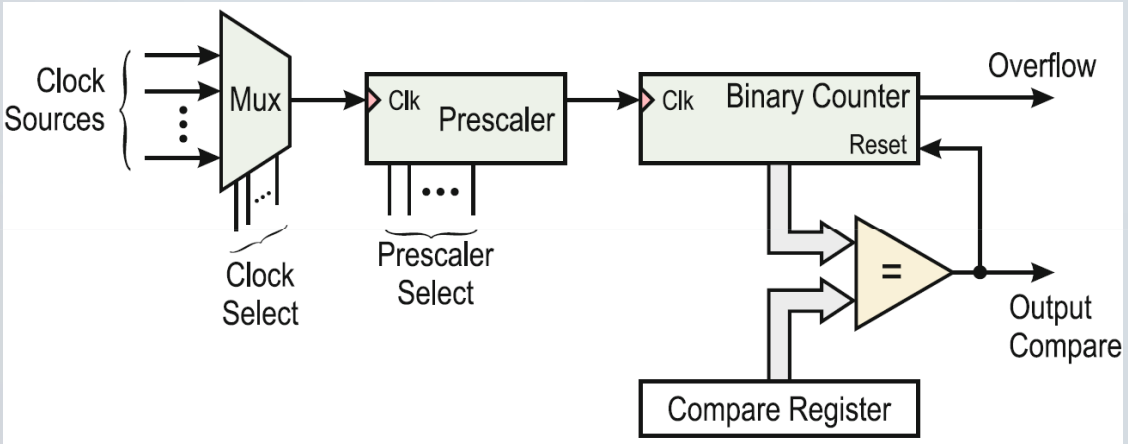
Prinicip rada tajmera

- U najosnovnijoj formi, tajmer je običan brojač koji se okida periodičnim klok signalom
- Osnovni princip rada svakog tajmera je sledeći: Počevši od neke proizvoljne vrednosti brojačkog registra, tipično od nule, brojač se inkrementuje (uvećava za jedan) svaki put kada se na klok signalu pojavi rastuća (opadajuća) ivica
- Na ovaj način brojač zapravo broji broj rastućih (opadajućih) ivica klok signala
- Po pravilu, tajmeri su osetljivi ili na rastuću ili na opadajuću ivicu klok signala, nikada na obe
- Ukoliko je klok signal periodičan, sa poznatom periodom T, tada broj odbrojanih ivica u tajmeru k, zapravo može da se interpretira kao proteklo vreme kT od trenutka startovanja tajmera (trenutak 0) do pojave poslednjeg događaja

Osnovna struktura tajmera

- Da bi se povećale mogućnosti tajmera, pored brojačkog registra on obično sadrži i dodatne module koji čine arhitekturu odgovarajućeg tajmera

- Fundamentalne komponente od kojih se sastoji većina tajmera su:
  - **Selektor klok signala (Mux)** – dozvoljava izbor jednog od više mogućih klok signala
  - **Preskaler** – obezbeđuje mogućnost delenja učestanosti klok signala (usporavanja klok signala) pre nego što on uđe u brojač
  - **N-bitni brojač** – koji obezbeđuje osnovnu brojačku funkciju
  - **N-bitni komparatorski registar** – koji omogućuje da se definiše maksimalna vrednost koju brojač može dostići
  - **N-bitni komparator** – koji omogućava detekciju trenutka kada brojač dostiže vrednost koja je smeštena u komparatorskom registru. Po pravilu, dostizanjem ove vrednosti automatski se vrđši resetovanje brojača.



Selekcija kloka i preskaler I

- U opštem slučaju, klok signal tajmera može da potiče od raznih izvora unutar embeded sistema koji uključuju unutrašnje i spoljašnje izvore klok signala ili čak neke asinhrone izvore događaja koji se koriste kao klok signal
- Modul za selekciju klok signala daje mogućnost projektantu embeded sistema da na jedan isti tajmerski modul dovede čitav niz različitih izvora klok signala i da u toku rada menja koji od njih zapravo okida tajmer
- U većini mikrokontrolera klok signali tajmera se izvode (generišu) iz sistemskog klok signala
- U mnogim aplikacijama učestanost sistemskog klok signala je previsoka da bi omogućila potrebno merenje proteklog vremena, jer bi zahtevala tajmer sa vrlo velikim brojačkim registrom

Selekcija kloka i preskaler II

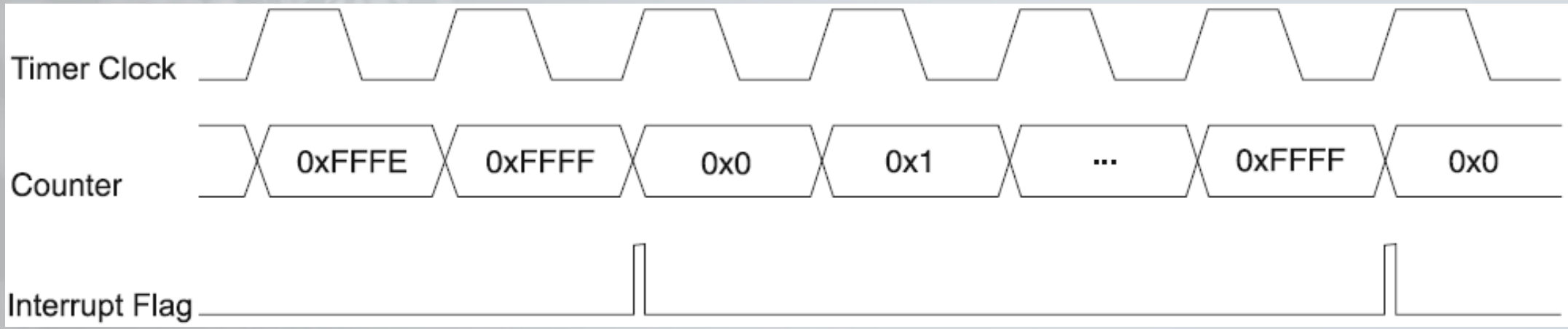
- Upravo zbog toga javlja se potreba za smanjivanjem učestanosti sistemskog klok signala za potrebe korišćenja unutar tajmera
- Funkcija preskalera, odnoso delitalja ulaznog takta, je upravo usporavanja ulaznog klok signala za zadati faktor skaliranja
- Po pravilu, faktor skaliranja se može zadati softverski upisom u odgovarajući registar koji se nalazi unutar tajmera
- Izlaz preskalera, koji predstavlja klok signal ali sada sa manjom frekvencijom od frekvencije ulaznog klok signala, se zatim vodi na ulaz brojačkog modula

Brojački i komparatorski moduli I

- Brojački registar je najznačajnija komponenta svakog tajmerskog modula
- Brojački registar je često iste veličine kao i ostali unutrašnji registri mikrokontrolera, mada to ne mora uvek da bude slučaj
- U većini tajmera, brojački registar je istovremeno i registar sa mogućnošću upisa i čitanja, što omogućava programeru da postavlja vrednost brojačkog registra na proizvoljne vrednosti kao i da čita trenutnu vrednost koja je smeštena u brojačkom registru
- Brojač menja svoje stanje kada detektuje odgovarajući događaj (rastuću ili opadajuću ivicu) na ulaznom klok signalu, uvećavajući vrednost brojačkog registra za jedan
- Na ovaj način brojač “broji” broj događaja na ulaznom klok signalu

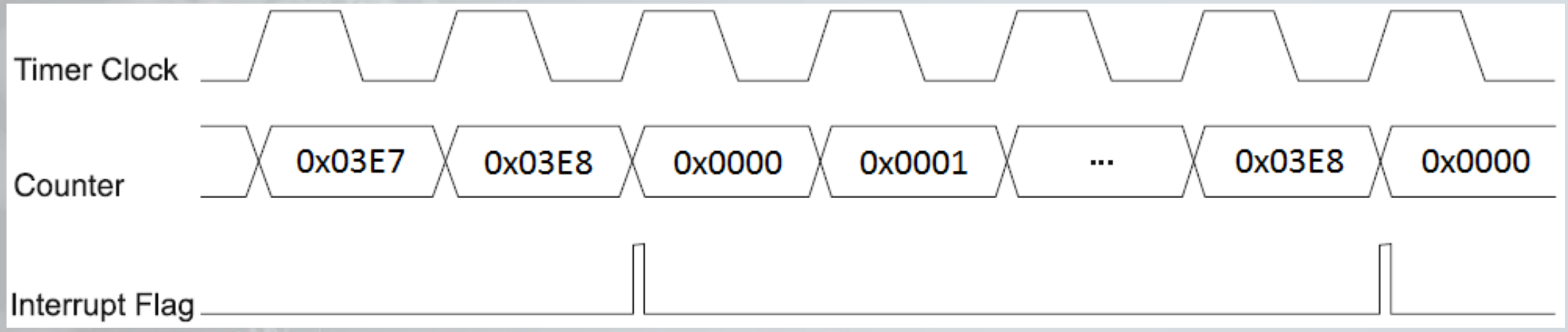
Brojački i komparatorski moduli II

- Obzirom da je brojački registar realizovan kao *N*-bitni registar, brojač broji od vrednosti 0 do vrednosti 2^N-1
- Kada dostigne vrednost 2^N-1 brojač generiše signal prekoračenja opsega (overflow) i započinje brojanje ponovo od vrednosti 0
- Ovaj overflow signal se obično može konfigurisati da izazove pojavu zahteva za prekidom
- Na slici dole prikazan je rad jednog 16-bitnog brojača, gde je takođe prikazano ponašanje signala zahteva za prekidom koji se aktivira kada se u brojaču desi prekoračenje opsega (prelazak sa vrednosti 65535 na vrednost 0)



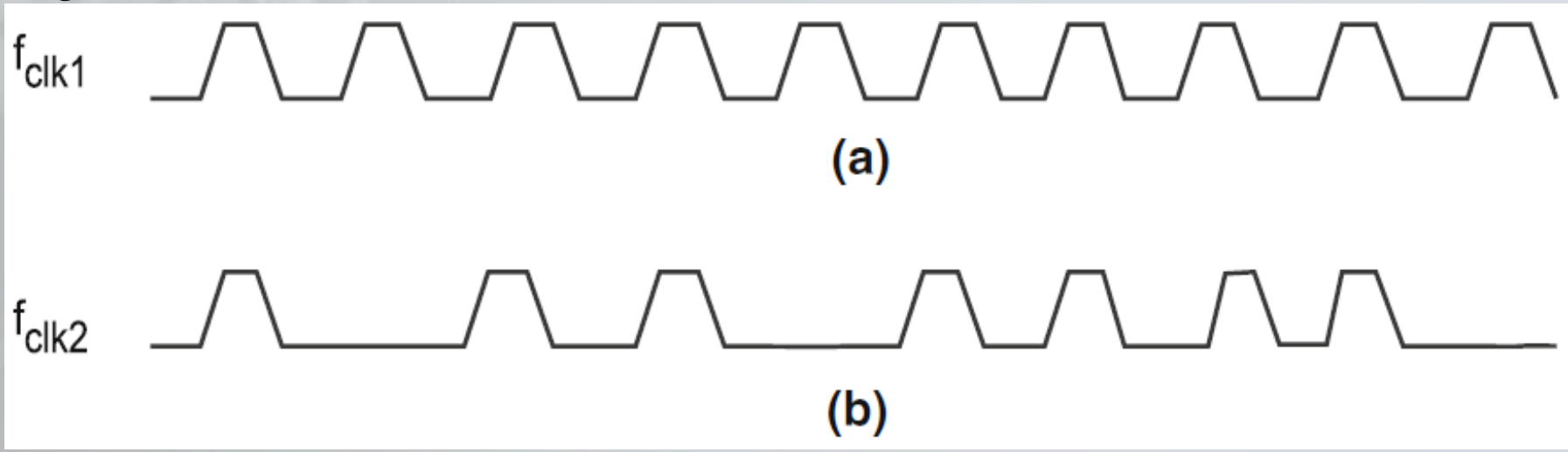
Brojački i komparatorski moduli III

- U većini aplikacija javlja se potreba za limitiranjem maksimalne vrednosti koju brojač može dostići
- U takvim slučajevima potrebno je postojanje komperatorskog registra i komparatora kao sastavnih delova tajmera
- Korišćenjem ova dva modula može se generisati signal koji će biti aktivan kada brojač dostigne vrednost koja je specificirana u komparatorskom registru
- Ovaj signal može zatim generisati odgovarajući zahtev za prekidom i resetovati brojač, kao što je prikazano na slici, u slučaju da je vrednost komparatorskog registra jednaka 1000 (0x03E8)



Osnovne primene tajmera: Brojač događaja I

- U ovom režimu tajmer prosto broji broj detektovanih događaja na svom ulaznom klok signalu
- Obratite pažnju da u ovoj primeni ulazni klok signal na neki način mora da bude u vezi sa događajem čiji broj realizacije se broji
- Zbog ove specifične veze sa izvorom događaja, u opštem slučaju, klok signal neće i ne mora da ima osobinu periodičnosti, koja je inače karakteristična za klok signale



Osnovne primene tajmera: Brojač događaja II

- Način rada brojača događaja biće ilustrovan na sledećem primeru
- Razmotrimo aplikaciju gde imamo potrebu za brojanjem broja ljudi koji su prošli kroz odgovarajuća vrata
- U ovom slučaju na vrata bi bio postavljen odgovarajući senzor koji bi generisao impuls svaki put kada neka osoba prođe pored njega
- Ovaj impulsni signal bi se zatim vodio na klok ulaz tajmera
- U ovoj konfiguraciji, prolazak svake osobe bi izazvao uvećavanje vrednosti brojačkog registra unutar tajmera za jedan

Osnovne primene tajmera: Brojač događaja III

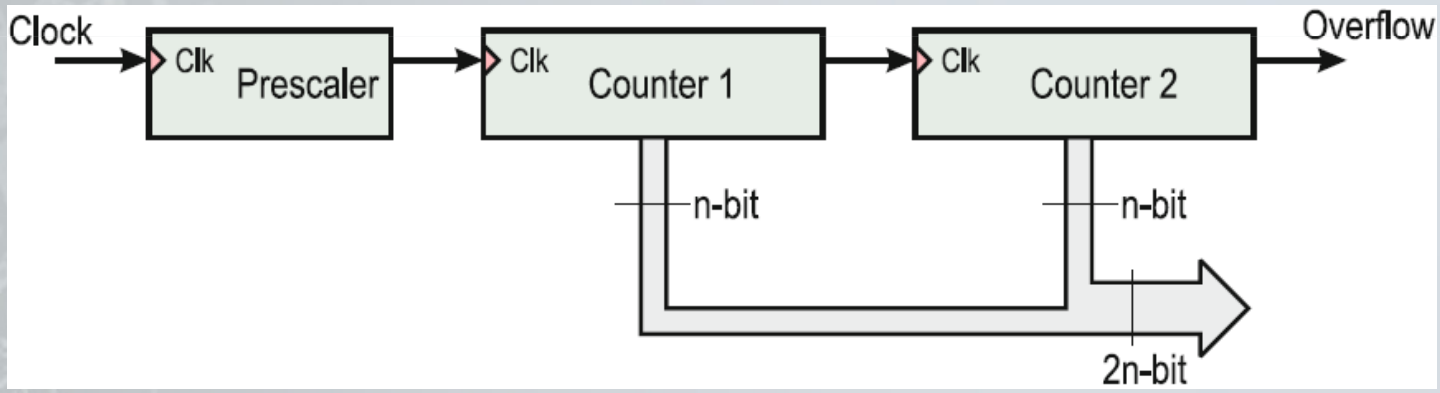
- Obratite pažnju da je u prethodnom primeru pretpostavljeno da je preskaler konfigurisan na takav način da deli ulazni klok (u našem slučaju to je signal sa senzora na vratima) signal sa faktorom 1
- Ovo je važan detalj, jer u slučaju da je preskaler bio konfigurisan da deli ulazni klok sa faktorom *p*, brojački registar bi uvećao svoju vrednost za jedan nakon što je senzor detektovao prolazak *p* ljudi
- Ovaj komentar ukazuje na jednu interesantnu aplikaciju preskalera kada tajmer radi u brojačkom režimu
- U nekim aplikacijama može se pojaviti situacija da je maksimalni broj događaja koji je potrebno detektovati veći od opsega brojanja brojačkog registra tajmera koji nam stoji na raspolaganju

Osnovne primene tajmera: Brojač događaja IV

- Navedeni problem može se rešiti na dva načina:

- **Proširenjem brojačkog opsega tajmera**
  - Korišćenjem softverske varijable - vrednost varijable bi se uvećavala za jedan svaki put kada tajmer dostigne svoj maksimum

  - Kaskadnim vezivanjem više tajmerskih modula



- **Korišćenjem preskalera**
  - U slučaju korišćenja preskalera, kada bi on bio konfigurisan da deli ulazni klok sa faktorom *p*, tajmer bi efektivno brojao pojavu setova of *p* uzastopih događaja

Osnovne primene tajmera: Brojač događaja V

- Sledeći primer bliže ilustruje način korišćenja preskalera za povećanje brojačkog opsega tajmera

Primer:

- Preskaler unutar tajmera konfigurisan je da deli ulazni klok sa faktorom 4. Brojač unutar tajmera je 16-bitni.

a) Koji je maksimalni broj događaja koji se može izbrojati sa ovako konfigurisanim tajmerom?

b) Koji broj treba upisati u komparatorski registar da bi tajmer nakon odbrojavanja 75000 događaja generisao zahtev za prekidom?

c) Da li je sa ovako konfigurisanim sistemom moguće izbrojati tačno 83253 događaja?

Osnovne primene tajmera: Brojač događaja VI

Rešenje pod a)

- Obzirom da brojač uvećava svoju vrednost nakon što se detektuje 4 uzastopna događaja (jer je preskaler konfigurisan tako da deli ulazni klok signal sa 4), maksimalni broj događaja koji se može izbrojati je

$$65536 \times 4 = 262140 \text{ događaja}$$

Rešenje pod b)

- Brojač se mora resetovati kada odbroji ukupno 75000 događaja. Kako se vrednost brojača uvećava za jedan nakon svaka 4 uzastopna događaja, vrednost koju treba da sadrži komperatorksi registar je

$$75000 / 4 = 18750$$

Rešenje pod c)

- Obzirom da vrednost 83253 nije deljiva sa brojem 4, brojač nije u mogućnosti da izbroji tačno 83253 događaja. Mogao bi da izbroji ili 83252 ili 83256 događaja.

Osnovne primene tajmera: Merač proteklog vremena I

- Kada ulazni klok tajmera je periodičan signal učestanosti *f* tajmer se može iskoristiti za merenje proteklog vremena između dva događaja

- Ukoliko je učestanost ulaznog klok signala *f* Hz, njegova perioda će biti jednaka

  Perioda $T = 1/f$ sekundi

- U ovakvom sistemu, kada brojač izbroji *k* događaja na ulaznom klok signalu, on je istovremeno izmerio vreme od $kT = k/f$ sekundi

Primer 1:

- Oscilator učestanosti 38 kHz koristi se za generisanje klok signala, koji je povezan na ulaz preskalera sa faktorom 16.
  a) Ako se tajmer resetuje nakon što brojač izbroji vrednost 0x8A39 koliko će vremena proteći između dva reseta?
  b) Kako se u postojećoj konfiguraciji može dobiti informacija da je proteklo 50 ms? Koje su apsolutne i relativne greške prilikom merenja vremenskog intervala od 50 ms?

Osnovne primene tajmera: Merač proteklog vremena II

Rešenje pod a)

- Učestanost i perioda kloka koji zapravo okida brojač unutar tajmera u ovako konfigurisanom sistemu je

$$f_{brojača} = 38 \text{ kHz} / 16 = 2.375 \text{ kHz}, \; T_{brojača} = 1/2.375 \text{ ms} = 421 \text{ us}$$

- Obzirom da je broj perioda ulaznog klok signala koje su bile odbrojane kada je brojač dostigao vrednost 0x8A39 jednak 0x8A39 = 35385, a trajanje svake periode iznosi 421 us, proteklo vreme između dva reseta tajmera iznosi

$$35385 * 421 \text{ us} = 14.9 \text{ sekundi}$$

Osnovne primene tajmera: Merač proteklog vremena III

Rešenje pod b)

- Obzirom da je potrebno signalizirati protok vremena od 50 ms, brojač mora da odbroji ukupno

  (50 ms) x (2.375 kHz) = 118.75 perioda klok signala.

- Obzirom da se u komparatorski registar može smestiti samo celobrojna vrednost, u ovom slučaju u njega je potrebno upisati vrednost 119.

- Stvarni vremenski interval koji će biti izmeren u ovom slučaju iznosi

  199 x 421 us = 50.105 ms

- Apsolutna i relativna greška merenja 50 ms vremenskog intervala sa ovako konfigurisanim sistemom iznose 105 us, i 0.21% respektivno.

- U zavisnosti od krajnje aplikacije, ova greška će biti prihvaljiva ili ne

Osnovne primene tajmera: Merač proteklog vremena IV

Primer 2:

- Vratimo se na primer brojanja osoba koje su prošle kroz odgovarajuća vrata i pretpostavimo da bi smo želeli da merimo i prosečno vreme koje protekne između prolaska dva osobe kroz vrata

Rešenje:

- Najjednostavnije rešenje bi bilo da se računa prosečno vreme između prolaska dve osobe pomoću odgovarajućeg bafera koji se pomera u vremenu. Na primer, prosečno vreme između prolaska dve osobe izraćunato usrednjavajući vremena poslednjih 8 prolazaka.

- U ovom slučaju mogli bi smo koristiti dodatni tajmer, tajmer 2, (jedan se već koristi za brojanje ljudi) koji bi bio klokovan sa klokom pozante učestanosti

- Koristeći izlaz senzora za detekciju prolaska osoba kroz vrata softver bi na svaki zahtev za prekidom pročitao tekuće stanje tajmera 2

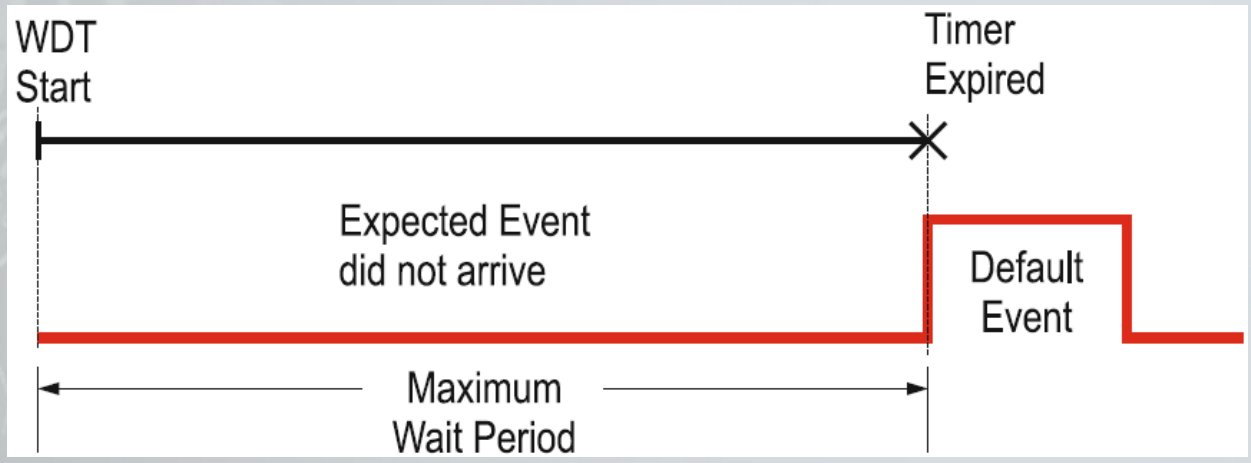
Osnovne primene tajmera: Merač proteklog vremena V

- Oduzimajući trenutnu vrednost tajmera 2 od vrednosti koja je bila očitana prilikom prethodnog generisanja zahteva za prekidom, moguće je izračunati vreme koje je proteklo između prolaska poslednje dve osobe kroz vrata
- Ova vremena između prolazaka dve sukcesivne osobe bi zatim bila smeštana u jedan cirkularni bafer dubine 8
- Računajući prosečnu vrednost vremena koja se trenutno nalaze unutar cirkularnog bafera mogli bi smo izračunati prosečno vreme između prolazaka osoba kroz vrata

Naprednije primene tajmera: Watchdog tajmer I

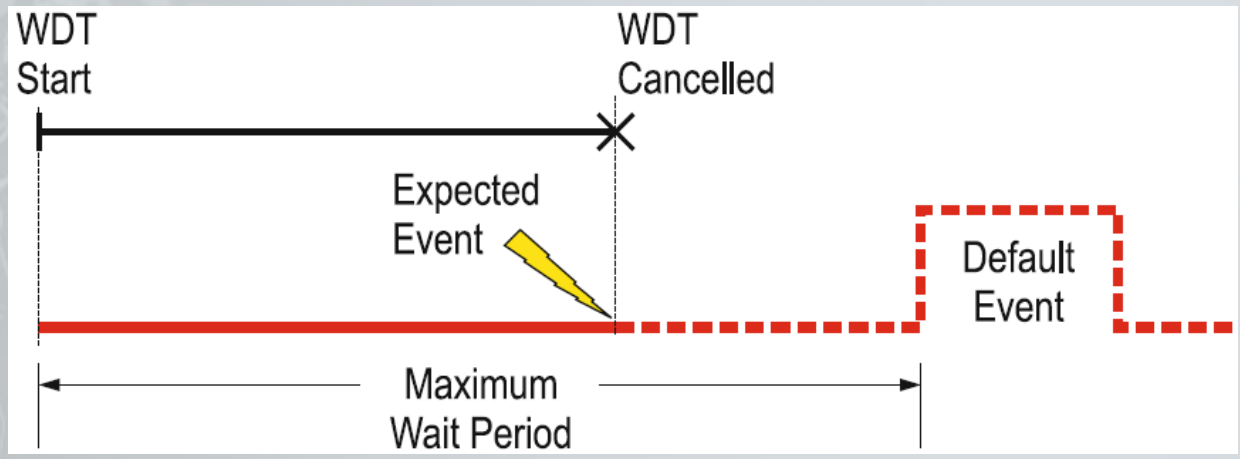
- Watchdog tajmer je posebna vrsta tajmera koji meri proteklo vreme između dva događaja

- Watchdog tajmer se koristi da generiše odgovarajuću defoltnu akciju unutar sistema, na primer da generiše zahtev za prekidom ili da resetuje čitav sistem ili neki njegov deo, u slučaju da istekne unapred definisani period vremena a ne pojavi se događaj koji treba da reinicijalizije watchdog tajmer



Naprednije primene tajmera: Watchdog tajmer II

- Maksimalno dozvoljeno vreme za pojavu događaja koji će reinicijalizovati watchdog tajmer se podešava softverski
- Podrazumevana akcija će se izvršiti u slučaju da istekne unapred definisani period vremena a ne dodje do pojave događaja koji reinicijalizuje watchdog tajmer
- Da bi smo sprečili watchdog tajmer da aktivira podrazumevanu akciju, nakon detekcije pojave odgovarajućeg događaja potrebno je reinicijalizovati watchdog tajmer
- Ovo se najčešće radi unutar prekidnog podprograma koji je asociran događaju koji treba da aktivira reinicijalizaciju watchdog tajmera



Naprednije primene tajmera: Watchdog tajmer III

- Kao primer korišćenja watchdog tajmera razmotrimo sledeću aplikaciju: Pretpostavimo da imamo sigurnosna vrata koja se otključavaju pomoću elektronske kartice.
- Da bi se vrata otključala, korisnik mora da provuče karticu kroz čitač. Ova akcija otključava vrata da bi korisnik mogao da ih otvori i uđe u zaštićenu prostoriju
- Međutim, ukoliko se nakon nekon unapred definisanog perioda vremena, na primer 30 sekundi, vrata ne otvore brava koja ih zaključava će se opet aktivirati
- U ovom primeru, WDT se startuje u trenutku provlačenja kartice kroz čitač
- Podrazumevana akcija koje se izvršava ukoliko WDT dostigne svoju predefinisanu vrednost (30 sekundi) je zaključavanje vrata
- Očekivani događaj koji reinicijalizuje WDT je otvaranje vrata

Naprednije primene tajmera: Watchdog tajmer IV

- Watchdog tajmer je vrsta sigurnosnog uređaja
- U normalnim okolnostima, podrazumeva se da će watchdog tajmer biti servisiran (reinicijalizovan, zaustavljen, resetovan) pre isteka definisanog perioda
- U protivnom, nešto nije u redu sa sistemom i potrebno je izvršiti odgovarajući oporavak sistema izvršavanjem podrazumevane akcije
- U embeded sistemima, watchdog tajmeri koriste se u različite svrhe:
  - Za zaustavljanje programa koji odstupaju od normalnog režima rada
  - Za izlazak iz mrtvih petlji unutar programa
  - Za detekciju nepravilnih transakcija na sistemskim magistralama
  - ...

Naprednije primene tajmera: Merač realnog vremena

- Jedna od načešćih aplikacija tajmera unutar embeded sistema jeste merenje protoka realnog vremena
- Merač protoka realnog vremena (Real-Time Clock, RTC) je tajmer koji je konfigurisan da meri prolazak sekundi, minuta, sati, itd.
- Vrlo često, potrebna rezolucija RTC modula mora se spustiti na delove sekunde, i takvi RTC moduli se često nazivaju hronometrima (chronometer)
- Sa druge strane, nekada je potrebno meriti vremena koja se mere danima, nedeljama, mesecima, pa čak i godinama, kada se RTC moduli nazivaju RTC kalendarima (Real-Time Clock Calendar, RTCC)
- Iako se funkcionalnost RTCC u potpunosti može realizovati softverski, postojanje posebnog tajmera namenjenog za ove svrhe može uštedeti veliki CPU ciklusa koji se zatim mogu iskoristiti na nekom drugom mestu

Naprednije primene tajmera: Baud Rate generator

- Tajmeri se takođe mogu iskoristiti za generisanje periodičnih signala koji su neophodni u serijskim komunikacionim protokolima da bi se obezbedila željena brzina razmene podataka

- U ovim aplikacijama, frekvencija ulaznog klok signala se deli sa željenom brzinom slanja podataka (*Baud Rate*) da bi se odredio potreban broj brojanja između slanja sukcesivnih bitova, odnosno da bi se odredilo vreme trajanja jednog bita (*Bit Time*)

- Izračunata vrednost se zatim smešta u komparatorski registar tajmera i na taj način se generiše zahtve za prekidom u tačno potrebnim trenucima

Naprednije primene tajmera: PWM generator I

- Impulsno širinska modulacija (*Pulse Width Modulation*, PWM) predstavlja čestu aplikaciju unutar embeded sistema koja se može realizovati korišćenjem tajmera
- PWM modul generiše periodičan signal čiji se faktor ispune (*Duty Cycle*) može kontrolisati od strane mikrokontrolera, odnosno softvera
- Obzirom da se i učestanost ulaznog kloka tajmera može kontrolisati softverski (izborom odgovarajućeg izvora klok signala pomoću multipleksera), u ovoj aplikaciji tajmera moguće se softverski kontrolisati i učestanost i faktor ispune generisanog periodičnog signala

Naprednije primene tajmera: PWM generator II

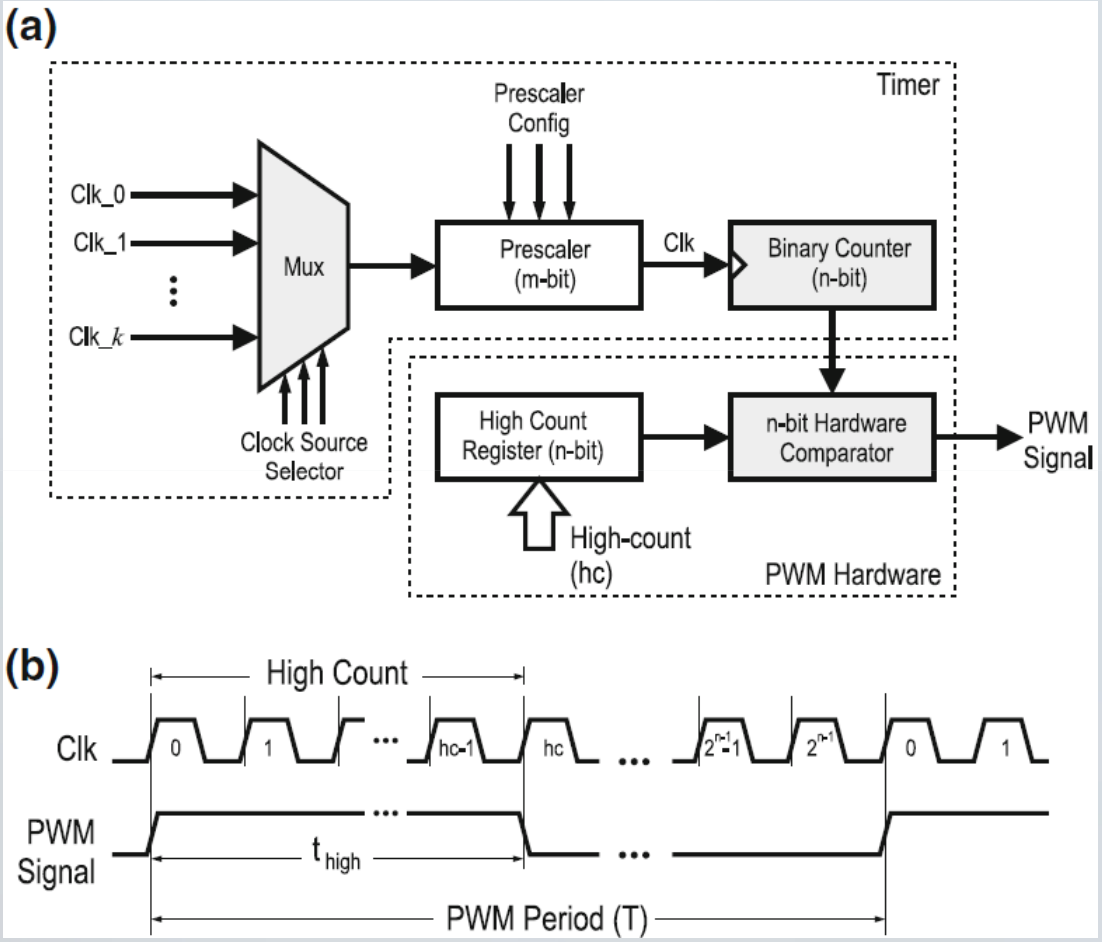
- PWM signali imaju veliku primenu u sistemima koji treba da kontrolišu količinu energije koja se prenosi ka nekom uređaju

- Energija PWM signala je funkcija njegovog faktora ispune (duty cycle)

- Aplikacije u kojima se koriste PWM signali su:
  - Kontrola brzine DC motora
  - Kontrola temperature grejača
  - Kontrola inteziteta svetlosti LED dioda
  - Itd...

Naprednije primene tajmera: PWM generator III

- Struktura tipičnog PWM modula prikazana je na slici (a)
- PWM modul sastoji se iz *N*-bitnog tajmera (sa selektorom klok signala i preskalerom) čiji se izlaz upoređuje sa sadržajem HC registra (*High Count*)
- Dok je vrednost tajmera manja od HC vrednosti, vrednost PWM signala jednaka je jedinici, u protivnom jednaka je nuli
- Vremenski dijagram PWM signala prikazan je na slici (b)
- Broj bitova (*N*) unutar brojačkog registra tajemra određuje rezoluciju PWM signala, dok vrednost HC registra određuje širinu impulsa (faktor ispune, t_{high}/T) PWM signala u datoj periodi
- Učestanost PWM signala može se kontrolisati pomoću preskalera i selektora klok signala

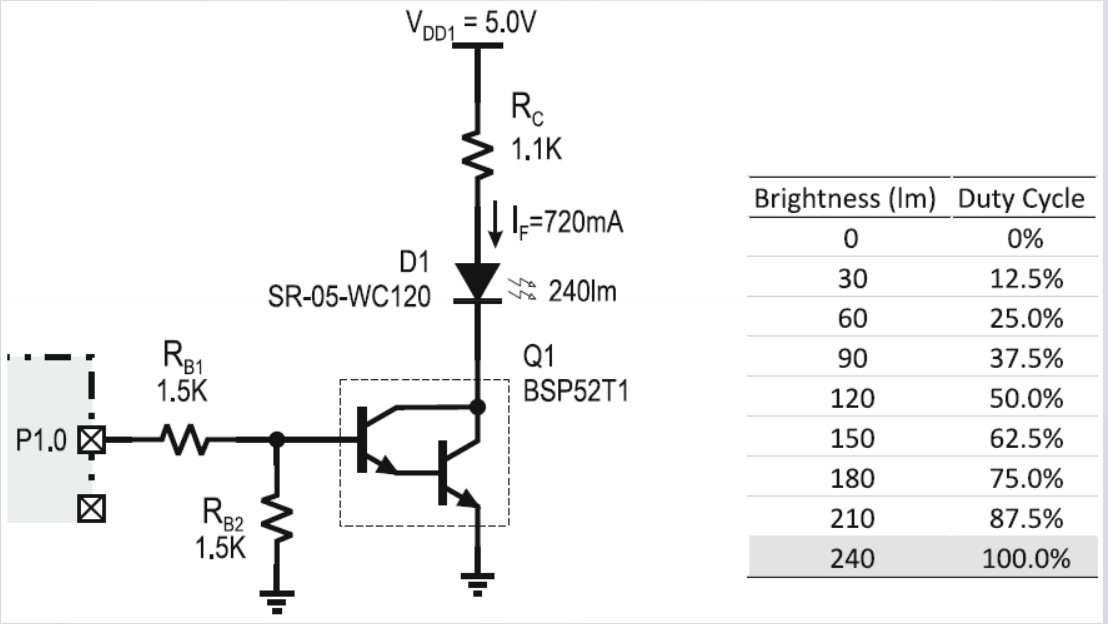


Naprednije primene tajmera: PWM generator IV

- Kao primer korišćenja PWM signala, razmotrimo kontrolu inteziteta svetla LED diode
- Sjajnost LED diode direktno je srazmerna jačini struje koja protiče kroz nju
- Pretpostavimo da u ovom primeru koristimo LED diodu model SR-05-WC120, koja može da generiše svetlost maksimalne sjajnosti od 240 lumena (lm) kada kroz nju protiče struja jačine 720mA
- Pretpostavimo da želimo da kontrolišemo sjajnost diode pomoću mikrokontrolera u 8 mogućih nivoa: *0lm*, *30lm*, *60lm*, *90lm*, *120lm*, *150lm*, *180lm* i *210lm*.
- Pretpostavimo da koristimo mikrokontroler sa 3.3V izlazima koji mogu da generišu maksimalno 20mA, a da je napajanje LED diode 5V

Naprednije primene tajmera: PWM generator IV

- Obzirom da mikrokontroler radi na 3.3V i može da generiše samo 20mA po jednom izlazu, a LED dioda se napaja sa 5V napajanjem i zahteva struju jačine do 720mA moramo isprojektovati odgovarajući sprežni interfejs
- Jedno moguće rešenje prikazano je na slici desno, zajedno sa potrebnim faktorima ispune koji će obezbediti željene nivoe sjajnosti
- Primetimo da svaki sledeći nivo sjajnosti zahteva povećanje od 1/8 faktora ispune
- Pod pretpostavkom da koristimo 8-bitni tajmer i učestanost klok signala od 32.768kHz, vrednosti koje bi bilo potrebno upisati u HC registar PWM modula da bi se postigle željene vrednosti sjajnosti su: 0, 32, 64, 96, 128, 160, 192 i 224
- Obzirom da je perioda PWM signala jednaka 32768/256=128Hz, neće biti vidljivog treperenja LED diode



Brightness (lm)	Duty Cycle
0	0%
30	12.5%
60	25.0%
90	37.5%
120	50.0%
150	62.5%
180	75.0%
210	87.5%
240	100.0%

Tajmeri i brojači unutar mikrokontrolera 8051

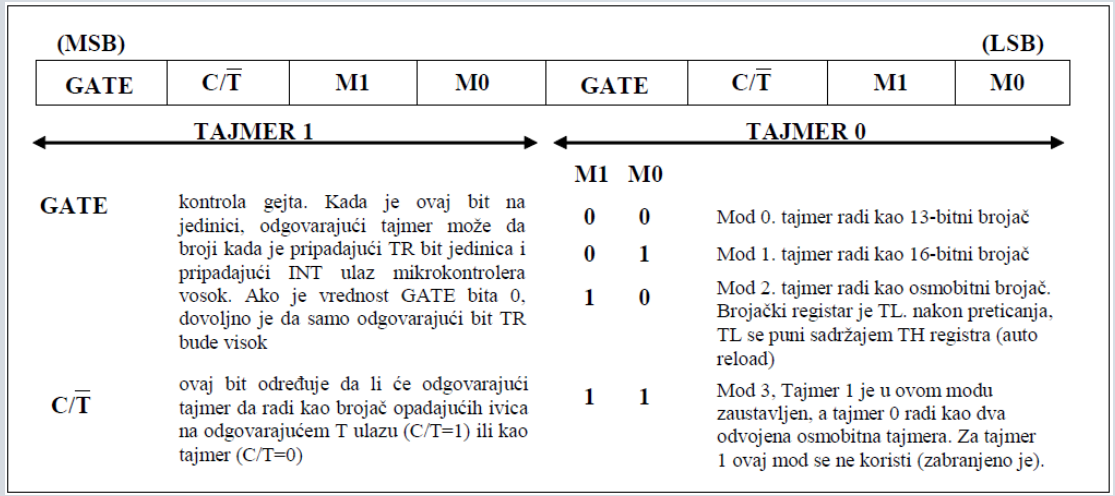
Tajmeri i brojači unutar mikrokontrolera 8051

- Mikrokontroler 8051 sadrži dva šesnaestobitna tajmersko-brojačka registra koji se označavaju se kao tajmer0 i tajmer1
- Mogu služiti kao brojački registri, ili tajmeri koji mere zadati vremenski interval. Oba tajmera mogu raditi u četiri radna režima.
- Kada radi kao brojač, sadržaj brojčakog registra se uvećava za jedan na svaku silaznu ivicu odgovarajućeg ulaza mikrokontrolera (**T0** za tajmer0, **T1** za tajmer1)
- Maksimalna frekvencija ulaznog signala koju brojač može da prati je 24 puta manja od radnog takta mikrokontrolera
- Kad radi kao tajmer, sadržaj tajmerskog registra se uvećava za jedan u svakom mašinskom ciklusu. Jedan mašinski ciklus traje 12 perioda radnog takta mikrokontrolera.
- Svakom tajmeru/brojaču pripadaju po dva osmobitna registra, **TH0** i **TL0** tajmeru 0, a **TH1** i **TL1** tajmeru 1

Kontrola rada tajmera 0 i 1

- Radom tajmera upravlja se pomoću registara **TMOD** i **TCON**
- Gornja četiri bita registra **TMOD** kontrolišu rad tajmera 1, a donja četiri rad tajmera 0
- Bitovi **TR1** i **TR0** registra **TCON** određuju da li će odgovarajući tajmer/brojač biti aktivan ili ne. Npr. ako je brojač 0 neaktivan on se neće uvećavati kada na ulazu **T0** nastupi prelaz sa visokog na nizak nivo.
- Način rada tajmera bira se kombinacijom bitova **M1** i **M0** registra **TMOD**
- Biti **C/T** registra **TMOD** definišu da li odgovarajući tajmer radi kao tajmer (**C/T**=0) ili kao brojač (**C/T**=1)
- Biti **GATE** omogućavaju kontrolu klok ulaza

TMOD



(MSB)							(LSB)
GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0	GATE	C/$\overline{T}$	M1	M0
TAJMER 1				TAJMER 0			

GATE	kontrola gejta. Kada je ovaj bit na jedinici, odgovarajući tajmer može da broji kada je pripadajući TR bit jedinica i pripadajući INT ulaz mikrokontrolera vosok. Ako je vrednost GATE bita 0, dovoljno je da samo odgovarajući bit TR bude visok
C/$\overline{T}$	ovaj bit određuje da li će odgovarajući tajmer da radi kao brojač opadajućih ivica na odgovarajućem T ulazu (C/T=1) ili kao tajmer (C/T=0)

M1	M0	
0	0	Mod 0. tajmer radi kao 13-bitni brojač
0	1	Mod 1. tajmer radi kao 16-bitni brojač
1	0	Mod 2. tajmer radi kao osmobitni brojač. Brojački registar je TL. nakon preticanja, TL se puni sadržajem TH registra (auto reload)
1	1	Mod 3, Tajmer 1 je u ovom modu zaustavljen, a tajmer 0 radi kao dva odvojena osmobitna tajmera. Za tajmer 1 ovaj mod se ne koristi (zabranjeno je).

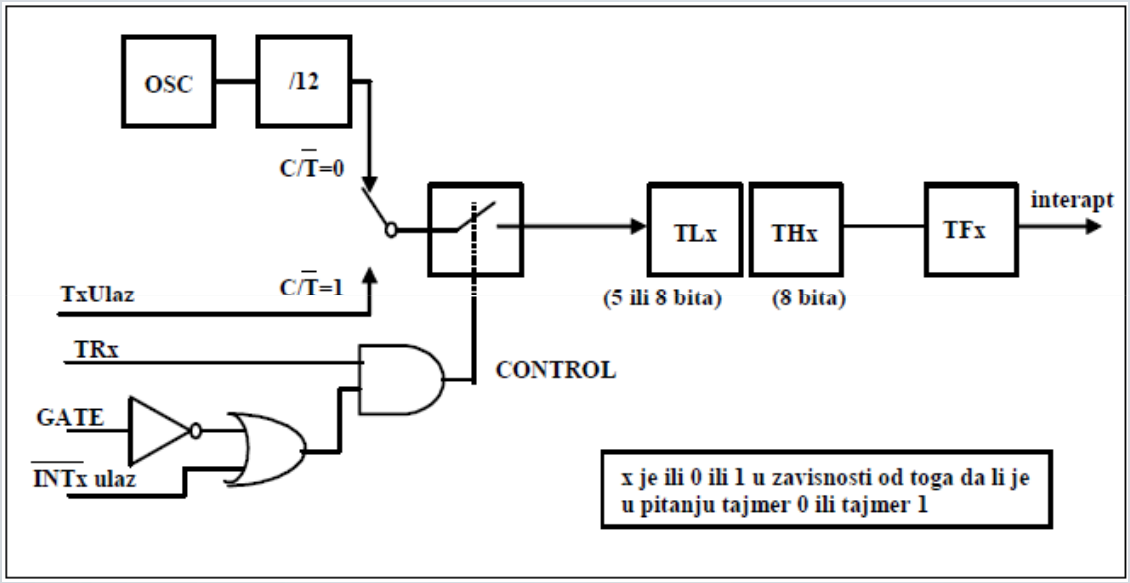
TCON

(MSB)							(LSB)
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1	zastavica preteka tajmera 1. Automatski se briše kada se skoči na potprogram za opsluživanje prekida
TR1	postavljanjem ovog bita tajmer 1 počinje da broji. U suprotnom ne broji
TF0	zastavica preteka tajmera 0. Automatski se briše kada se skoči na potprogram za opsluživanje prekida
TR0	postavljanjem ovog bita tajmer 0 počinje da broji. U suprotnom ne broji
IE1	zastavica detektovanog spoljašnjeg zahteva za prekidom 1. Kada je zahtev detektovan, postavlja se na jedinicu, a briše se automatski kada se skoči na potprogram za opsluživanje prekida
IT1	određuje da li je ulaz za spoljašnji prekid 1 osetljiv na opadajuću ivicu ili na nizak nivo
IT0	zastavica detektovanog spoljašnjeg zahteva za prekidom 0. Kada je zahtev detektovan, postavlja se na jedinicu, a briše se automatski kada se skoči na potprogram za opsluživanje prekida
IE0	određuje da li je ulaz za spoljašnji prekid 0 osetljiv na opadajuću ivicu ili na nizak nivo

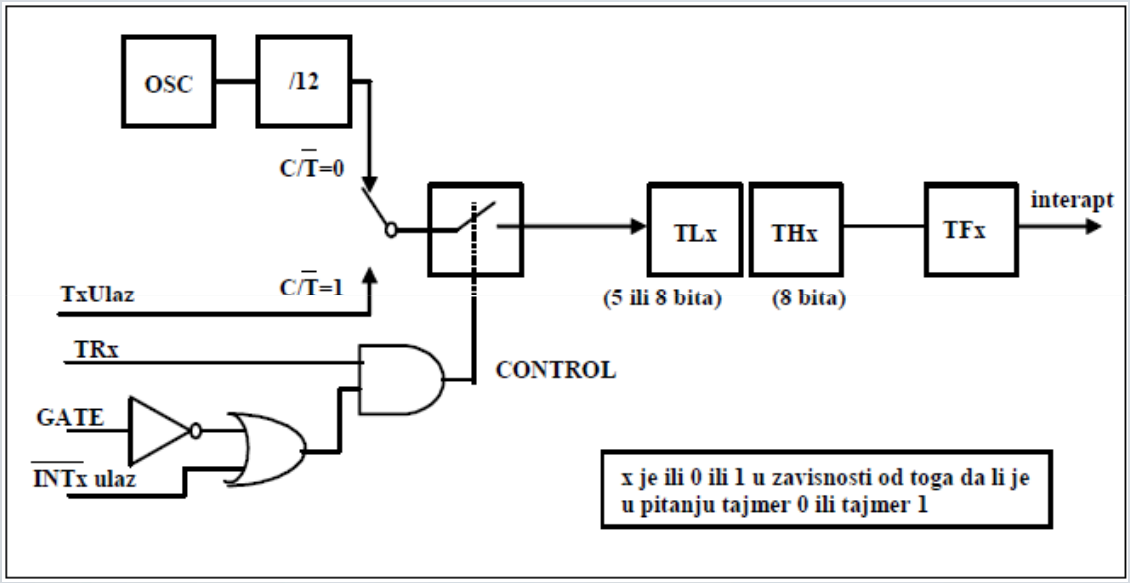
Modovi rada tajmera 0 i 1 – Mod 0

- U modu 0 tajmer predstavlja 13-bitni tajmer/brojač
- Kada svi biti registra postanu jedinice, sledećim uvećanjem sadržaja registra svi biti postaju nule
- Preticanje izaziva postavljanje odgovarajuće interapt zastavice (bit **TF1** registra **TCON** za tajmer 1 i bit **TF0** za tajmer 0)
- Postavljanje interapt zastavice izaziva prelazak na izvršavanje servisne rutine ako je odgovarajući interapt dozvoljen
- Biti **TF1 i TF0 se automatski** vraćaju na vrednost 0 kada se desi skok na interapt servisnu rutinu
- Pomenuti 13-bitni registar sastoji se od svih osam bita **TH** i nižih pet bita **TL** odgovarajućeg tajmer registra
- Viša tri bita **TL** registra u ovom modu su nedefinisana



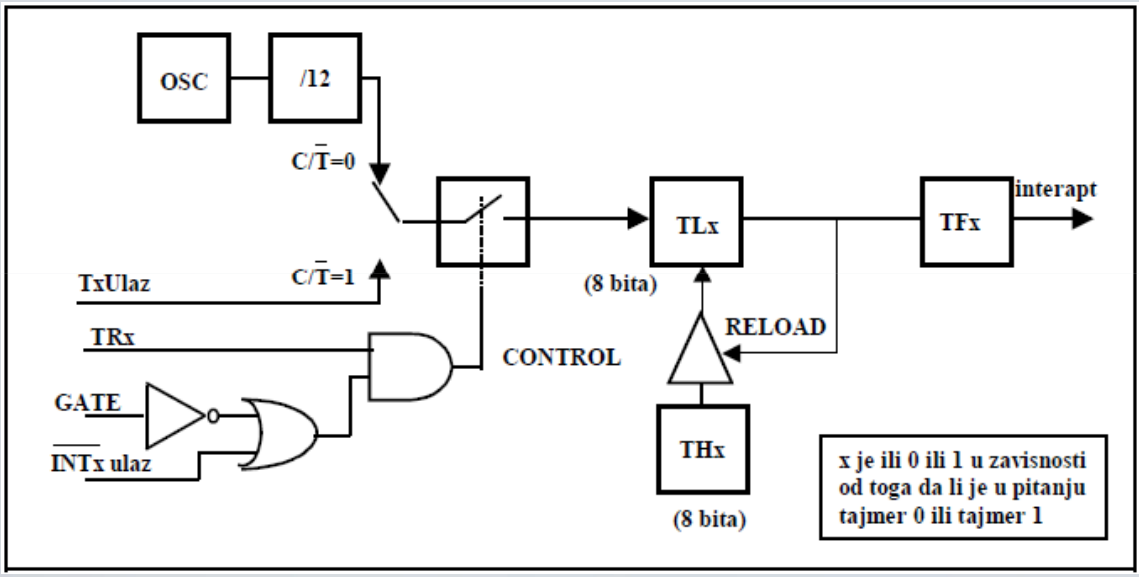
Modovi rada tajmera 0 i 1 – Mod 1

- Mod 1 je po svemu isti kao i mod 0 s tim što je brojački registar u ovom slučaju 16-bitni
- Koristi se svih osam bitova i **TL** i **TH** registra
- Bit **TF1** ili **TF0** se opet postavlja pri prelasku iz stanja svih šesnaest bita jednako 1 u stanje svih šesnaest bita jednako 0



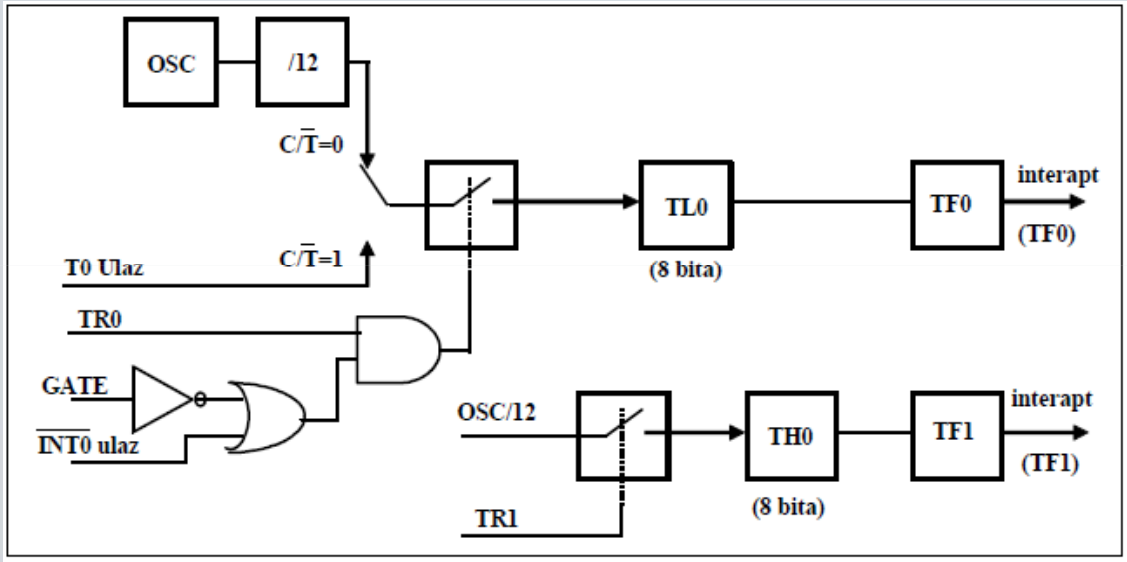
Modovi rada tajmera 0 i 1 – Mod 2

- U modu 2 tajmer radi kao osmobitni tajmer sa automatskim punjenjem inicijalne vrednosti nakon preticanja
- Kao tajmer/brojač uvećava se odgovarajući **TL** registar, a kada done do preticanja postavlja se bit **TF1** ili **TF0** u zavisnosti od tajmera, dok se vrednost iz odgovarajućeg **TH** registra upisuje u **TL** registar
- Vrednost **TH** registra ostaje neizmenjena



Modovi rada tajmera 0 i 1 – Mod 3

- Ovaj mod različito prihvataju tajmer 0 i tajmer 1
- Kada se tajmer 1 prebaci u mod 3 on jednostavno prestane da broji zadržavajući svoje prethodno stanje, kao da je bit **TR1**=0
- Ako je tajmer 0 u modu 3, a tajmer 1 u bilo kom modu osim moda 3, tajmer 1 nastavlja svoj regularan rad u datom modu samo što ne može da generiše interapt jer je bit **TF1** kontrolisan tajmerom 0
- Tajmer 0 u modu 3 radi kao dva odvojena osmobitna tajmera
- Bitovi **GATE, TR0 i C/T** (i ulazi **T0** i **INT0**) kontrolišu brojanje registra **TL0** čijim preticanjem se postavlja bit zastavica **TF0**
- Registar **TH0** broji mašinske cikluse, a njegovim preticanjem postavlja se bit zastavica **TF1**
- Bit **TR1** kontroliše brojanje **TH0**




entity test_shift is
generic (width : integer := 7
shift_reg <= unsigned (inp);
elsif (en = '1') then