

Mikrokontrolery?

To takie proste..

W kolejnym odcinku opisującym procesor 8051 przedstawię kilka praktycznych wiadomości na temat pracy mikrokontrolera, jej szybkości w zależności od częstotliwości taktującej zegara. Następnie pokrótce zapoznamy się z niemniej ważnym blokiem funkcjonalnym, czyli: układem czasowo – licznikowym. Tak jak w poprzednich odcinkach nie będę wgłębiał się w teorię dotyczącą tych zagadnień, przekazując jedynie wiadomości potrzebne do osłuchania a raczej oswojenia się z procesorem. Szczegółowy opis wszystkich rejestrów sterujących pracą 8051 opiszę w jednym z kolejnych odcinków, który będzie niejako podstawową „ściągawką” w stawianiu pierwszych kroków w programowaniu.

Część 5

Mikrokontroler 8051 – to takie proste!

Zegar systemowy

O zegarze wspominałem na początku naszego cyklu, kiedy to poznawaliśmy wyprowadzenia mikrokontrolera. Czy pamiętasz funkcje jaka pełnią wyprowadzenia 18 i 19 procesora (w obudowie DIL-40)? Jeśli nie to radzę przeczytać stosowny akapit w EdW 5/97 str. 41.

Powiedziałem, że do poprawnej pracy, a w zasadzie w ogóle do pracy, czyli do „poruszenia” całego procesora potrzebny jest zewnętrzny obwód oscylatora. W praktyce taki obwód realizuje się dołączając zewnętrzny rezonator kwarcowy o częstotliwości z zakresu od mniej więcej 1MHz do 16MHz. W handlu spotyka się także wersje 8051 mogące pracować w szerszym zakresie: od pojedynczych „Hz” (wersje całkowicie statyczne CMOS) do nawet: 33...40MHz. W każdym przypadku producent konkretnego modelu procesora umieszcza na jego obudowie oprócz nazwy układu także symbol liczbowy określający maksymalną częstotliwość zewnętrznego sygnału taktującego (która w praktyce jest także równa dołączanemu rezonatorowi kwarcowemu). Nie będziemy jednak się zajmować tutaj sposobami oznaczania poszczególnych wersji 8051, nie to jest w tej chwili najważniejsze, ważne jest to że im większa częstotliwość graniczna procesora, tym oczywiście układ będzie mógł pracować szybciej.

Nie oznacza to, że w każdym przypadku „uganiać się” będziemy za możliwie najszybszą wersją układu, nie zawsze przecież taka będzie potrzebna. Wiedzieć wszakże trzeba że tak jak w przypadku wszystkich układów wykonanych w technologii MOS (CMOS, HMOS) wraz ze wzrostem częstotliwości pracy układu wzrasta wydzielana w nim moc, czyli wzrasta pobierany przez procesor prąd ze źródła zasilania.

Praktyczny wniosek nasuwa się sam – jeżeli masz zamiar zastosować procesor w układzie przenośnym zasilanym np. z niewielkiej baterii, z pewnością nie użyjesz procesora 8051 w wersji 20MHz! Poborem mocy oraz zagadnieniami z tym związanymi zajmujemy się w dalszej części naszego cyklu.

Przejdźmy jednak do informacji praktycznych.

Musisz wiedzieć, że częstotliwość (nazwijmy ją jako Fxtal) uzyskiwana z rezonatora kwarcowego (dołączonego do pinów 18 i 19) jest we wnętrzu procesora kilkakrotnie dzielona. I tak w praktyce spotkasz się w literaturze i katalogach na temat 8051 i podobnych z pojęciami jak:

a) dwufazowy sygnał taktujący procesor (Fs) – sygnał powstały z podzielenia przez 2 częstotliwości oscylatora (np. przy kwarcu = 12 MHz, Fs = 6MHz). Sygnał ten używany jest bezpośrednio do taktowania układów wewnętrznych procesora i nie jest dostępny na żadnym z zewnętrznych jego wyprowadzeń.

b) sześć cykli sygnału Fs składa się na tzw. cykl maszynowy procesora, czyli okres wykonywania elementarnej czynności (jakiej?... za chwilę) przez naszą kostkę. Z prostych obliczeń wyniknie Ci że, cykl maszynowy zajmuje: $Fs \times 6 = 2 \times Fxtal \times 6 = 12$ cykli oscylatora, czyli dla np. $Fxtal=12\text{MHz}$ będzie to 1MHz.

Cykl maszynowy jest bardzo ważnym pojęciem, z jego częstotliwością ($Fxtal/12$) zachodzą podstawowe czynności procesora takie jak:

- pobieranie kodu rozkazów (czy to z wewnętrznej pamięci programu, czy z zewnętrznej)
- wykonywanie instrukcji programu
- pobieranie danych z zewnętrznej pamięci (jak i z wewnętrznej)
- zwiększanie wartości wbudowanych liczników: T0, T1 także T2 dla 8052
- próbkowanie wejść zewnętrznych przerwań: INT0 i INT1
- wystawianie sygnału ALE – pin 30 (opisywanego wcześniej) niezbędnego do zapisu młodszej części adresu multipleksowanej szyny adresowej – portu P0, przypomnij sobie wcześniejszy odcinek.

Z częstotliwością tą taktowany jest także wbudowany port szeregowy w specjalnym trybie ustawionym przez użytkownika programowo.

Warto wiedzieć że cykl maszynowy dzieli się także na fazy (po 6 na każdy cykl), jednak ich opis i znaczenie w praktyce przy

Też to potrafisz

konstruowaniu większości urządzeń jest niepotrzebne, dlatego nie będziemy się tym w bieżącym odcinku zajmować.

Rysunek 1 ilustruje zależności czasowe pomiędzy omówionymi podstawowymi pojęciami spotykanymi podczas omawiania zegara i cyklu maszynowego. Warto o tym pamiętać.

Układy czasowo-licznikowe

Pod pojęciem tym kryją się wielokrotnie wspomniane dwa 16-bitowe liczniki T0 i T1 oraz dodatkowy licznik T2 który występuje w procesorze 8052.

Najogólniej mówiąc każdy z tych liczników a właściwie układów czasowo-licznikowych jest tak uniwersalnym blokiem że z wykorzystaniem jego można dokonać następujące dwie podstawowe operacje:

a) za pomocą T0 (T1 lub T2) można zliczać impulsy z zewnętrznego wejścia licznikowego; pin 14 dla T0 i pin 15 dla T1 (tryb licznika)

oraz

b) można zliczać wewnętrzne impulsy pochodzące z układu taktującego procesor, w każdym przypadku będzie to sygnał o częstotliwości = $F_{xtal} / 12$. Czyli jeżeli „dopieliliśmy” do mikrokontrolera kwarc o częstotliwości 6 MHz to częstotliwość sygnału taktującego licznik T0 lub T1 (T2) będzie równa $6 \text{ MHz} / 12 = 500 \text{ kHz}$. W tym trybie zwanym czasomierzem, liczniki wykorzystuje się do odmierzania pewnych określonych programowo przez użytkownika odcinków czasu (opóźnień) i generowania przerwań po przepelnieniu któregoś z liczników.

W dalszej części artykułu przedstawię przykład takiego zastosowania.

W przypadku wykorzystania układu licznikowego w obu przypadkach należy wiedzieć że:

- maksymalna liczba zliczonych impulsów jest określona pojemnością 16-bitowego licznika, czyli 2 do potęgi 16 = 65536 (licznik zlicza od 0 do 65535 po czym po nadejściu kolejnego impulsu jest zero-

wany oraz z zależności od potrzeb jest generowane odpowiednie przerwanie);

- licznik można w dowolnym momencie uruchomić (zezwoić na zliczanie) lub zatrzymać wydając w programie odpowiednią komendę;
- do licznika można w każdej chwili wpisać dowolną wartość (16-bitowa liczba), co spowoduje że licznik będzie zliczał impulsy od tej wartości aż do przepelnienia; wpisu takiego najlepiej jest dokonywać w czasie gdy licznik jest zatrzymany;
- dodatkowo licznika można „bramkować” czyli uzależnić jego pracę lub zatrzymanie w zależności od stanu panującego na wejściach: INT0 dla licznika T0 oraz INT1 dla licznika T1;
- oprócz tego licznik T1 (jak i T2 w 8052) może „taktować” wbudowany port szeregowy w specjalnym trybie który opiszemy przy okazji omawiania tego bloku procesora.

W przypadku używania liczników do zliczania impulsów zewnętrznych należy wiedzieć, że maksymalna częstotliwość (F_{max}) zliczanych impulsów jest ściśle zależna od częstotliwości oscylatora kwarcowego F_{xtal} i określona jest zależnością:

$$F_{max} = \frac{F_{xtal}}{24}$$

Czyli w przypadku zastosowania kwarcu o częstotliwości 12 MHz maksymalna częstotliwość impulsów na wejściu licznika może wynieść 500kHz dodatkowo przy założeniu że przebieg ma wypełnienie 1:2. Ograniczeni wynika z faktu, że liczniki T0 i T1 (także T2) fizycznie nie wyglądają jak np. 7493, lecz zliczają na zasadzie „próbkiwania” wejścia impulsów w celu stwierdzenia czy jest logiczne „0” a następnie „1”. Operacja ta odbywa się na synchronicznie z cyklem maszynowym o którym mówiliśmy wcześniej. W każdym cyklu maszynowym procesor próbuje wspomniane wejścia liczników, toteż stwierdzenie, że na jednym z wejść sygnał zmienił wartość z „0” na „1” lub odwrotnie zajmuje 2 cykle maszynowe – stąd bierze się F_{max} .

Przy projektowaniu układów dla bezpieczeństwa warto jednak granicę tę nieco obniżyć (np. do 480 kHz przy $F_{xtal}=12\text{MHz}$).

Podane możliwości wykorzystania liczników jako np. wejść mierzących częstotliwość nie są zbyt imponujące. Jednak jak się sam przekonasz w przyszłości takie wykorzystanie liczników procesora np. do bezpośredniego mierzenia częstotliwości wejściowej jest niepraktyczne. Dlatego, w odpowiedzi podaję przykład.

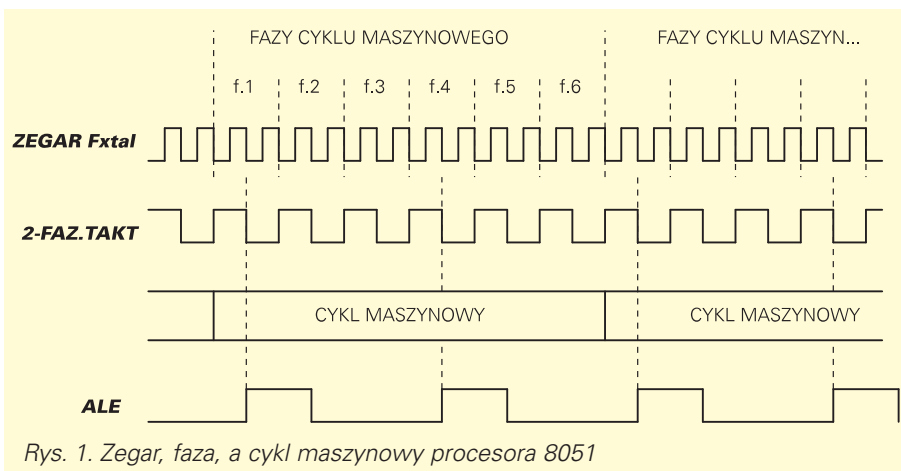
Wyobraź sobie że chcesz zmierzyć częstotliwość rzędu kilku (kilkunastu MHz) a więc znacznie przekraczającą możliwości liczników procesora. Do mierzenia każdej częstotliwości w zwykłych miernikach wykorzystuje się dwa sygnały: mierzony i oczywiście bramkujący. Ten drugi pochodzi zazwyczaj z wbudowanego w przyrząd generatora wzorcowego i powstaje przez wielokrotne podzielenie częstotliwości generowanej najczęściej za pomocą rezonatora lub generatora kwarcowego.

Nasuwa Ci się pewnie w tej chwili myśl: „...” No dobrze wykorzystam generator procesora a właściwie jeden z jego liczników do odmierzania czasu bramkowania a drugim licznikiem mierzę impulsy wejściowe i będę miał szukaną częstotliwość, tylko że kilka „MHz” to stanowczo zbyt wiele na mój procesor „...”

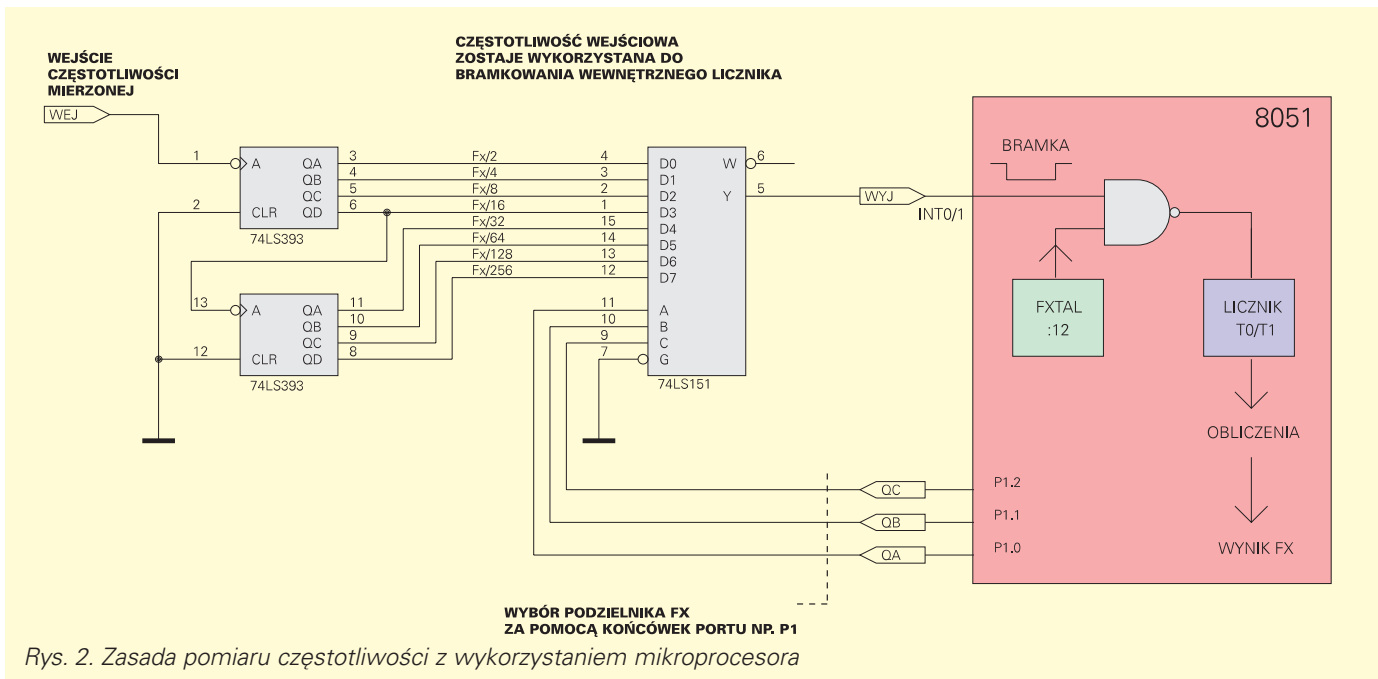
A gdyby tak odwrócić role i zliczać impulsy wewnętrzne o częstotliwości przeciwnej znanej i równej $F_{xtal} / 12$, a sygnał wejściowy wielokrotnie podzielić i wykorzystać do bramkowania licznika. Wtedy w zasadzie otrzymamy nie częstotliwość ale okres przebiegu wejściowego, ale od czego mamy mikroprocesor, który potrafi wykonywać obliczenia arytmetyczno – logiczne. Potrafi on także dokonać odwrócenia wyniku okresu w efekcie czego otrzymamy liczbowa wartość mierzonej częstotliwości. Tak więc w prosty sposób można dokonać pomiaru dowolnej częstotliwości wejściowej a przy okazji wyświetlić ciekawskiemu użytkownikowi także okres badanego przebiegu.

Rysunek 2 ilustruje zasadę pomiaru częstotliwości, którą najczęściej wykorzystuje się w układach z mikroprocesorem. Wbrew pozorom metoda ta daje świetne wyniki oraz pozwala uzyskać dużą dokładność pomiaru przy krótkich czasach bramkowania.

Należy tylko częstotliwość wejściową podzielić przez taką wartość która da wynik zbliżony do wymaganego okresu bramkowania. Dodatkowy sprzętowy programowany dzielnik najprościej jest wykonać chociażby za pomocą kaskadowo połączonych 4-bitowych liczników binarnych 7493 lub podwójny 74393 wraz z multiplekserem np. 74151 (sprawdzić w katalogu). Wejścia multipleksera decydujące o stopniu podziału sterowane będą oczywiście z wolnych końcówek dowolnego portu mikroprocesora 8051 (np. z P1).



Rys. 1. Zegar, faza, a cykl maszynowy procesora 8051



Rys. 2. Zasada pomiaru częstotliwości z wykorzystaniem mikroprocesora

Uzyskany na wyjściu multiplexera przebieg doprowadzony zostanie do wejścia bramkującego licznik INT0 – dla licznika T0 lub INT1 kiedy zlicza licznik T1. W tym przykładzie oczywiście licznik będzie zliczał impulsy wewnętrzne, tak więc poszukiwana częstotliwość można będzie obliczyć z proporcji

$$\frac{F_x}{F_{wew}} = \frac{L_x}{L_{wew}}$$

gdzie:

F_x – częstotliwość szukana

F_{wew} – częstotliwość imp. wewnętrznych = $F_{xtal} / 12$

L_x – liczba zliczonych impulsów z zewnątrz

L_{wew} – liczba impulsów zliczonych przez licznik wewnętrzny

W przypadku kiedy sygnał mierzony wykorzystujemy jak w naszym przykładzie do bramkowania to $L_x = 1$ toteż po przekształceniu otrzymamy:

$$F_x = \frac{1}{L_{wew} \cdot F_{wew}}$$

ale $L_x = 1$ to

$$F_x = \frac{F_{wew}}{L_{wew}}$$

Wynik należy jeszcze pomnożyć przez wartość dzielnika sprzętowego, czyli wzór przyjmie postać:

$$F_x = D_z \cdot \frac{F_{wew}}{L_{wew}} \text{ [Hz]}$$

gdzie D_z to dzielnik pamiętając że

$$F_{wew} = \frac{F_{xtal}}{12}$$

gdzie F_{xtal} – częstotliwość oscylatora.

Dla przykładu założmy że zewnętrzny programowany dzielnik dzieli częstotliwość mierzoną przez 64 tak, że na wyjściu multiplexera otrzymujemy przebieg którego okres, a więc czas od jednego np. ujemnego zbocza do drugiego ujemnego zbocza, wynosi tyle, że wewnętrzny licznik procesora bramkowany tymi zboczami zliczy w czasie jednego okresu 54532 impulsy (których częstotliwość przy zastosowaniu kwarcu 12MHz wynosi 1MHz). Skomplikowane? Przeczytaj to zdanie jeszcze raz i postaraj się zrozumieć. No i jak z tego policzyć częstotliwość? Z naszego wzoru! Tak więc:

$$F_x = \frac{64(\text{dzielnik}) \cdot 1000000}{54532} = 1173 \text{ Hz}$$

Sprawdźmy na „chłopski rozum” czy aby wynik jest w porządku:

- licznik procesora w przeciągu jednego okresu podzielonego przebiegu wejściowego zliczył 54532 impulsy każdy po 1us (mikrosekundzie) przy zegarze 12MHz
- tak więc okres podzielonego przebiegu z wejścia wynosi: 54532 μ s (mikrosekundy), czyli 54,532 ms (milisekundy).
- odwracamy tę wartość i uzyskujemy liczbę: 18,3378
- pamiętając o dzielniku wstępnym mnożymy otrzymaną liczbę przez niego czyli przez 64
- otrzymujemy wynik:

$$F_x = 18.3378 \cdot 64 = 1173 \text{ Hz}$$

tak więc się zgadza.

Uff, jeżeli masz dość obliczeń, odpocznij chwilę, w każdym razie musisz pamiętać że z wykorzystaniem procesora możliwości obliczeniowe oraz atrakcyjność przyrządu pomiarowego wzrasta, pomi-

mo pozornie trudniejszego sposobu mierzenia tej wielkości.

Po tym małym przykładzie wracamy do tematu naszego odcinka.

Fizycznie 16-bitowe liczniki T0, T1 i T2 są zbudowane z dwóch 8-bitowych „połówek”, do których programista ma dostęp na poziomie programu. W czasie zliczania impulsów przeniesie z młodszego bajtu licznika nazywanego jako TL powoduje automatyczną inkrementację bajtu starszego TH, przy jednoczesnym wyzerowaniu bajtu TL. Taka sytuacja przedstawia jeden z kilku trybów w którym dwie połówki stanowią całość – 16-bitowy licznik. W mnemonice (nazewnictwie) 8051 wspomniane dwie połówki liczników mają swoje oznaczenia, i tak: dla licznika T0 są to TH0 i TL0 (starsza i młodsza część), dla licznika T1 – TH1 i TL1. Podobnie jest w przypadku licznika T2 w procesorze T2, gdzie mamy: TH2 i TL2.

W praktyce użytkownik ma możliwość zaprogramowania liczników w kilku innych trybach pracy, nie mniej użytecznych. W sumie jest ich 4, nazywane potocznie: trybem 0, 1, 2 i 3. Poniżej opiszemy je po krótku. Ze względu na to że liczniki T0 i T1 są bliźniaczo podobne będziemy odwoływać się przy opisie tylko do licznika T0. Ze względu na rozbudowane funkcje licznik T2 zostanie opisany w dalszej części artykułu osobno.

Tryb 0

W tym trybie licznik pracuje w konfiguracji 13-bitowej. Starszy bajt TH0 zawiera 8 bardziej znaczących bitów licznika (bity 7...0 TH0), natomiast 5 pozostałych bitów to najstarsze bity z TL0 (bity 7...3). Trzy najmłodsze bity bajtu TL0 są nieistotne i ignorowane przez procesor. **Rysunek 3**

Też to potrafisz

przedstawia konfigurację licznika T0 (T1) w tym trybie.

Do licznika (do bajtów TH0 i TL0) można wpisać dowolna wartość pamiętając, że 3 najmłodsze bity słowa TL0 będą ignorowane. Licznik po uruchomieniu będzie zliczał od wartości wpisanej na początku (może to także być wartość „0”) do wartości maksymalnej czyli $2^{13}-1=8191$ po czym się wyzeruje, dodatkowo zgłaszając jeżeli potrzeba przerwanie informujące program o tym fakcie. Jeżeli niektórych z Was denerwuje te „przerwanie” to nie będę trzymał w niepewności i wyjaśnię na czym polega istota zgłoszenia przerwania w momencie przepełnienia licznika.

Wyobraź sobie że chcesz odmierzać równomierne odstępy czasu o długości np. 2,45 ms (milisekund). Co robisz? Mając do dyspozycji procesor z kwarcem np. 12 MHz wpisujesz do licznika T0 wartość początkowa równa:

$$\text{wartość_maksymalna_licznika_T0} + 1 - 2450$$

Dlaczego 2450?

Bo jest to $2450 \times 1\mu s = 2,45 \text{ ms}$

A skad 1 μ s?

Bo przecież jest to częstotliwość zliczania wewnętrznych impulsów = $F_{\text{xtal}} / 12$).

Tak więc po odjęciu otrzymasz liczbę: $8191 + 1 - 2450 = 5742$, którą zanim wpiszesz do licznika T0 musisz pomnożyć dodatkowo przez 8 (1000 binarnie) bo pamiętaj przecież że trzy najmłodsze bity 2..0 TL0 są ignorowane.

Teraz po wpisaniu uruchamiasz licznik, który liczy w górę od wartości wpisanej: 5742 aż do przepełnienia – 8191 czyli 2450 impulsów, zajmie mu to więc dokładnie 2450 us – czyli 2,45 ms, po czym zgłoszone zostanie przerwanie, w którym Ty – przyszły programista określisz co akurat ma się wydarzyć po upływie 2,45 ms.

Tryb 1

Tryb ten jest bardzo podobny do trybu 0, z tym że do zliczania wykorzystywane są wszystkie 16-bitów licznika. Stąd nasuwa się wniosek że maksymalną pojemność licznika w tym trybie wynosi 65535, po czym następuje przepełnienie czyli wyzerowanie z ustawieniem znacznika zgłoszenia przerwania (jeżeli jest taka potrzeba).

Tryb ten najczęściej wykorzystuje się do generowania przerwań mających na celu odmierzenie czasu np. przy zegarze czasu rzeczywistego. Przykład zastosowania może być taki jak poprzednio zwiększa się tylko zakres mierzonych odstępów czasu.

Tryb 2

Nieco ciekawszy jest tryb 2, w którym pracuje tylko młodsza połówka 16-bitowego licznika a więc TL0 (TL1 dla licznika T1). Ośmiobitowy licznik TL0 zlicza w górę aż do wartości maksymalnej czyli 255, po czym ... tu uwaga! Automatycznie zostaje przepisana do niego wartość początkowa ze starszej połówki TH0. Tak więc raz wpisując do TH0 jakąś wartość, nie musimy się martwić aby zrobić to programowo powtórnie przy przepelnieniu pracującego licznika – TL0.

Tryb ten ma wiele zastosowań, szczególnie przydaje się tam gdzie potrzebne jest generowanie przerwań w równych odstępach czasu, np. przy generacji sygnału prostokątnego o zadanej częstotliwości i wypełnieniu. O tym jak to się realizuje dowiesz się Czytelniku podczas nauki programowania 8051. Na razie proponuję Ci się nad tym zastanowić samemu. Pomocny będzie **rysunek 4** na którym pokazana jest struktura licznika w trybie 2.

Warto także wiedzieć, że tryb ten w liczniku T1 wykorzystuje się do taktowania portu szeregowego procesora.

a właściwie do określenia szybkości transmisji danych przez ten port. Wtedy jednak licznik nie może spełniać innych funkcji, np. generować przerwań przy przepełnieniu.

Tryb 3

Tryb ten dotyczy obu liczników T0 i T1 procesora na raz. Otóż w trybie tym licznik T1 jest zatrzymany i nie pracuje. Dwa bajty licznika T0: TH0 i TL0 pracują jako dwa niezależne 8-bitowe liczniki, przy czym istnieją pewne ograniczenia co do ich funkcji, a mianowicie:

- TL0 może liczyć impulsy z wejścia T0 lub pracować jako czasomierz zliczając impulsy wewnętrzne ($F_{\text{xtal}} / 12$)
- TH0 może pracować tylko jako czasomierz, czyli zliczać impulsy wewnętrzne

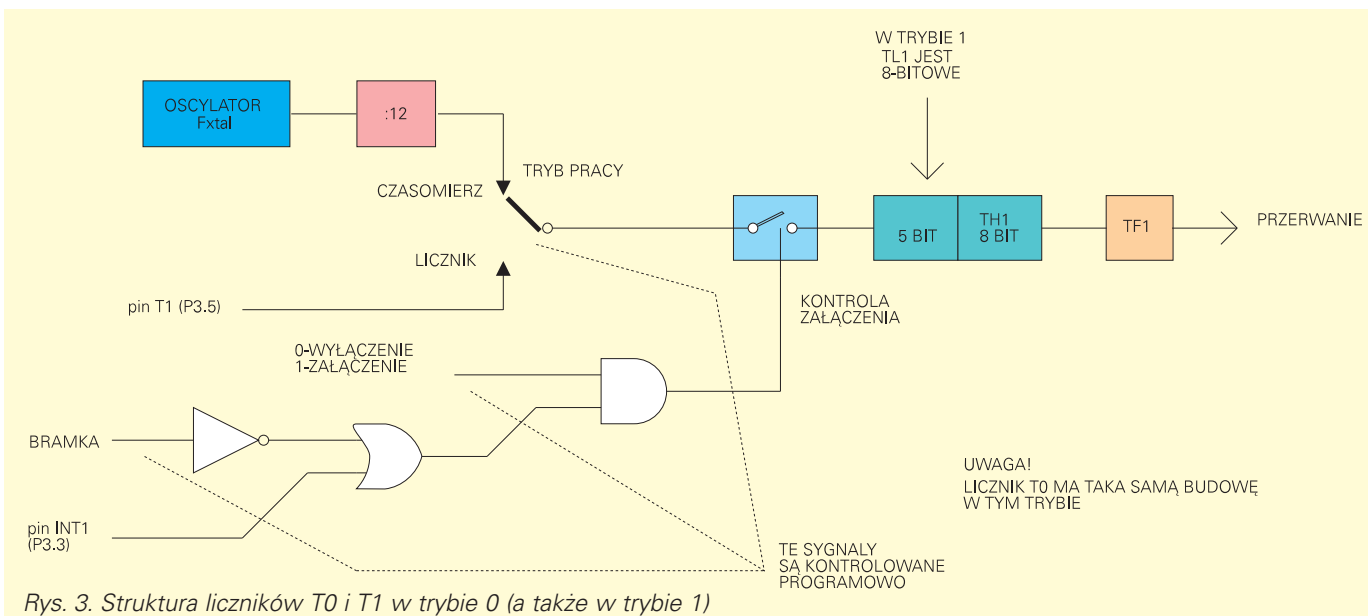
Tryb ten został zaimplementowany przez twórców 8051 po to, aby w wypadkach kiedy licznik T1 używany jest do określania szybkości transmisji poprzez port szeregowy, a programiście niezbędne są dwa dodatkowe liczniki, których rolę spełniają wtedy wspomniane TL0 i TH0.

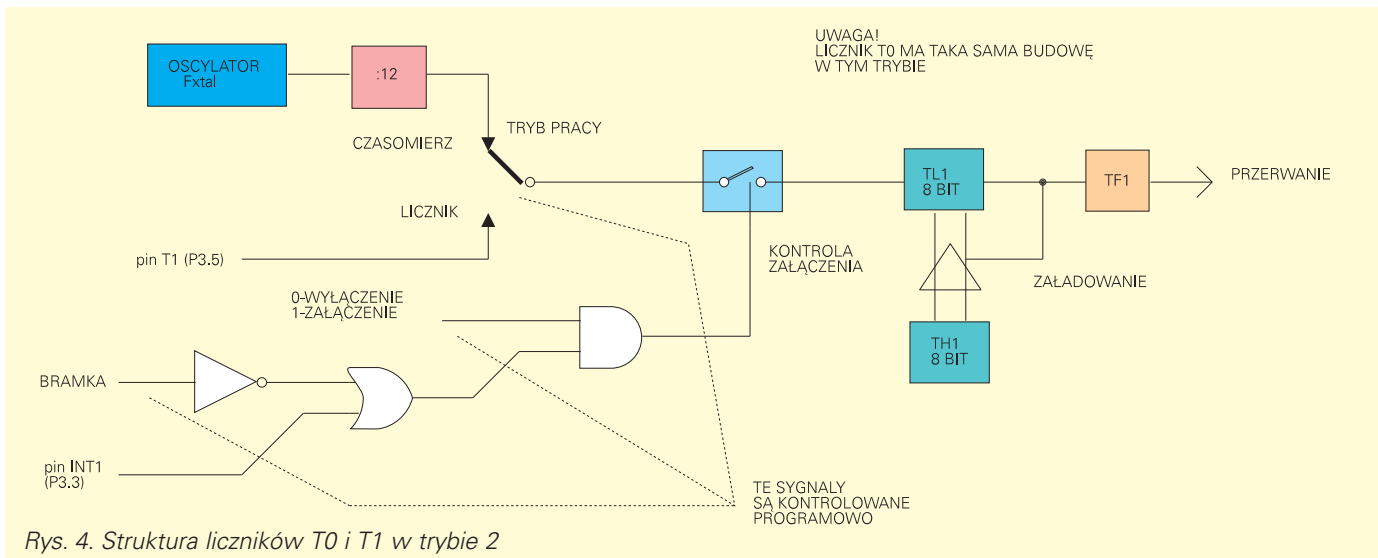
W obecnych czasach, jeżeli zachodzi taka potrzeba, czasem lepiej jest zastosować procesor w wersji 80C52 z wbudowanym trzecim licznikiem T2. Niemniej jednak warto wiedzieć o tym nietypowym trybie liczników T0 i T1.

Licznik T2 w kostce 80C52

W mikrokontrolerze 80C52 występuje dodatkowy licznik nazywany T2. Podobnie jak licznik T0 i T1 jest on 16-bitowy. Posiada jednak kilka dodatkowych funkcji które rozszerzają jego możliwości. Zaczynamy jednak po kolei.

Podobnie jak w licznikach opisanych wcześniej licznik T2 składa się z dwóch bajtów TH2 (starszy) i TL2 (młodszy). Po-





Rys. 4. Struktura liczników T0 i T1 w trybie 2

dobnie jak T0 i T1 licznik T2 może pełnić rolę czasomierza, czyli zliczać impulsy wewnętrzne pochodzące z zegara procesora, może także zliczać impulsy zewnętrzne dzięki alternatywnej funkcji jednego z pinów portu P1 a mianowicie P1.0 – nóżka 1 procesora 8052.

Licznik ten posiada także możliwość automatycznego załadowania wartości początkowej określonej przez użytkownika a zapisanej w dwóch oddzielnych rejestrach 8-bitowych (które w sumie dają 16-bitową wartość początkową) zwanych RLDH i RLDL (patrz odcinek w EdW nr 6/97 tabela rejestrów specjalnych SFR).

Funkcja ta działa podobnie jak w liczniku T0 (T1) ustawionym w trybie 2. Zauważmy jednak że w przypadku T2 pracuje całe 16-bitów licznika i całe 16-bitów z RLDH.RLDL może być automatycznie załadowane, kiedy licznik zostanie przepełniony.

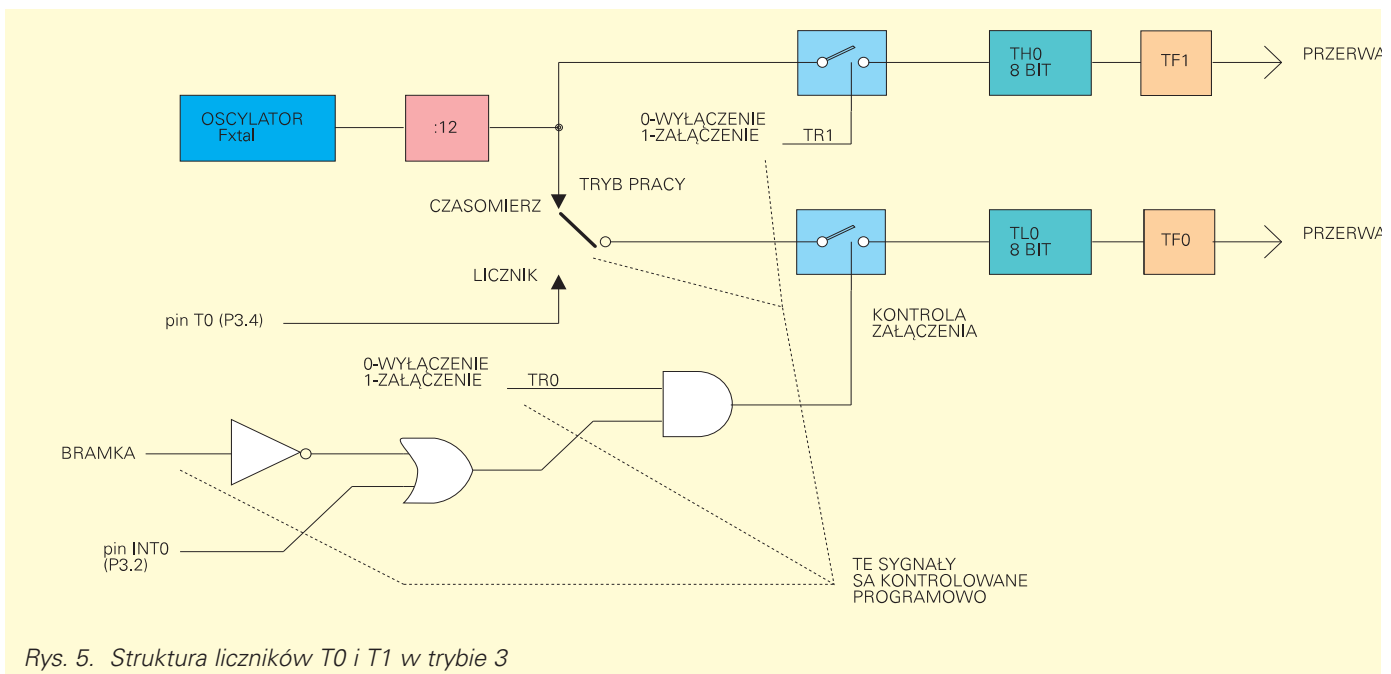
Z licznikiem T2 w kostce 80C52 związany jest dodatkowy także alternatywnie wykorzystywany pin portu P1 (zwany T2EX) a mianowicie P1.1 – nóżka 2. Otóż jeżeli zachodzi potrzeba, programista może wykorzystać tę końcówkę do zewnętrznego bramkowania licznika T2, co bardzo często przydaje się podobnie jak przy bramkowaniu liczników T0 i T1 sygnałami INT0 i INT1.

I tak w przypadku gdy T2 pracuje jako licznik liczący zewnętrzne impulsy, opadające zbocze na końcówce T2EX spowoduje automatyczne natychmiastowe załadowanie licznika T2 – TH2 i TL2 wartością zdefiniowaną w rejestrach RLDH.RLDL. Do czego to wykorzystać? Jest wiele praktycznych zastosowań ot chociażby funkcja autoładowania pod wpływem zewnętrznego sygnału może być przydatna do synchronizowania pracy wewnętrznego licznika z zewnętrznym sygnałem zegarowym o niższej częstotliwości.

Jeżeli zaś licznik T2 pracuje w roli czasomierza, to wejście T2EX można wykorzystać do automatycznego przepisania aktualnej wartości rejestrów TH2.TL2 do rejestrów RLDH.RLDL. Można powiedzieć że działanie w tym trybie (czasomierza) jest jakby odwrotne do sposobu w trybie licznika. Wartość zostaje przepisana do rejestrów RLDH.RLDL a nie odwrotnie jak to miało miejsce w przypadku pracy T2 w trybie licznika impulsów zewnętrznych.

W praktyce takie działanie umożliwia np. na bardzo dokładny pomiar przebiegów wolnozmiennych bez konieczności stosowania dodatkowych układów scalonych. Odpowiedź na pytanie „A jak to się robi...?” otrzymasz drogi Czytelniku przy okazji kursu programowania 8051.

Na koniec istotna dodatkowa informacja dotycząca licznika T2. Podobnie jak licznik T1, T2 może w zależności od po-



Rys. 5. Struktura liczników T0 i T1 w trybie 3

