



Zegar NIXIE CPLD

Przedstawione urządzenie jest zegarem z lampami NIXIE. W czasopiśmie i w Internecie pojawiło się sporo podobnych rozwiązań. Moje opracowanie zasadniczo wyróżnia się tylko sposobem konstrukcji i dostosowaniem projektu do konkretnej obudowy oraz użyciem zamiast mikrokontrolera układów CPLD serii XC9500XL. Być może Czytelnicy zechcą zbudować projekt, który w znacznej mierze bazuje na kursie układów programowalnych, jaki rozpoczął się w numerze 9/2008 EdW. Wiedza wyniesiona z kursu pozwoli wprowadzić własne poprawki lub zmodyfikować zegar do swoich potrzeb. Jest to również interesujące, dodatkowe ćwiczenie do wspomnianego kursu i prezentacja praktycznych możliwości układów CPLD.

W Elportalu dostępne są wynikowe pliki, którymi można zaprogramować układy bez żadnych dodatkowych modyfikacji. Znajdują się tam również pliki źródłowe, co powinno ułatwić nanoszenie ewentualnych zmian.

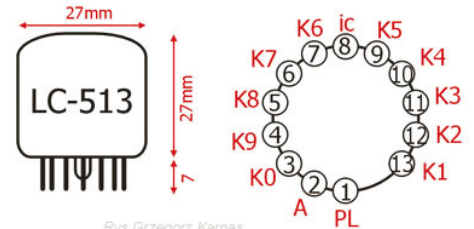
Do złączy JP1...JP6 należy za pomocą przewodów podłączyć anody poszczególnych lamp. Warto wlotować w płytkę goldpiny i umieścić na przewodzie podwójne gniazdo do tego złącza. Ułatwi to ewentualny montaż/demontaż urządzenia.

Wyprowadzenia lamp LC-513 (użyte w projekcie) pokazano na **rysunku 2** i zaznaczono je na płytce drukowanej panelu na warstwie Top Overlay.

Drugi blok zasilacza dostarcza napięcie 5V oraz 3,3V. Pierwsze z nich zasila generator kwarcowy (można wlotować wersję „kwadratową” i „prostokątną”). Złącze JP7 służy do podłączenia pierwszej płytki zliczającej sekundy (wejście oznaczone SYSTEM_IN).

MODUŁ LICZĄCY. Schemat tego układu pokazano na **rysunku 3**. Do budowy urządzenia potrzebne są trzy takie płytki. Każda z nich ma złącze SYSTEM_IN, do którego podłącza się złącze SYSTEM_OUT z poprzedniej płytki. Taka organizacja sprawia, że do pierwszej płytki

trafiają impulsy z generatora kwarcowego, są dzielone i na złącze SYSTEM_OUT w efekcie trafia sygnał zegarowy o okresie 60 sekund. W kolejnej płytce mamy do czynienia z następnym podziałem częstotliwości i do ostatniej płytki, zliczającej godziny, dochodzą 2 impulsy o okresie jednej godziny. Za zliczanie sekund/minut/godzin odpowiada układ CPLD. Steruje on tranzystorami T1...T20, które włączają odpowiednią katodę lampy (czyli wybraną cyfrę). Do złącza JP3 należy podłączyć lampę mniej znaczącą (jedności z godzin/minut/sekund), a do złącza JP4 – bardziej znaczącą (dziesiątki



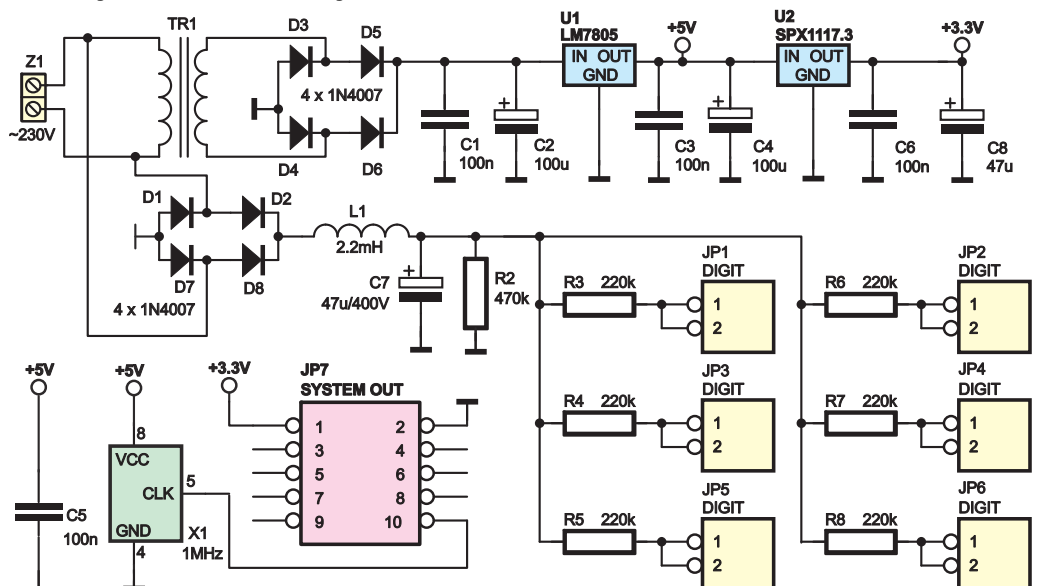
Rys. Grzegorz Karnas

Rys. 2 Wyprowadzenia lamp LC-513

Sprzęt

ZASILACZ. Schemat zasilacza pokazano na **rysunku 1**. Składa się on z dwóch bloków. Pierwszy złożony jest z elementów D1, D2, D7, D8, L1, C7, R2. Jego zadanie sprowadza się do dostarczenia napięcia około 320V (amplituda napięcia sieciowego), które jest niezbędne do zasilania lamp NIXIE. Rezystor R2 jest elementem zabezpieczającym – po wyłączeniu urządzenia z sieci rozładuje kondensator C7, aby zminimalizować ryzyko porażenia. Rezystory R3..R8 ograniczają prąd płynący przez lampy. Odkłada się na nich napięcie w przybliżeniu 170V, stąd konieczność zastosowania wartości 220kΩ, aby zmniejszyć rozpraszana na nich moc. Można zmienić ich wartość na 47kΩ, żeby lampy świeciły jaśniej, ale wtedy trzeba kupić oporniki 1W.

Rys. 1 Schemat ideowy zasilacza



godzin/minut/sekund). Obowiązuje zasada, że do pierwszego pinu podłącza się katodę odpowiedzialną za wyświetlanie jedynek, do drugiego pinu odpowiedzialną za wyświetlanie dwójki, a do 10 pinu – zero.

Do ustawiania godziny wykorzystano przyciski S1 oraz S2. Dzięki temu można ustawić niezależnie jednostki minut/godzin oraz dziesiątki minut/godzin. Sekund nie można ustawić, chyba że Czytelnicy zechcą zmodyfikować konfigurację układu CPLD.

Tu jeszcze jedna uwaga – w płytce zliczającej minuty i godziny można zastosować tańszy układ XC9536XL, natomiast do zliczania sekund potrzeba już układu XC9572XL, gdyż nie udało się w mniejszej wersji zmieścić zliczania i stosownego preskalera dla generatora kwarcowego.

Implementacja

Zasadniczo urządzenie, jak wspomniano wcześniej, jest złożone (oprócz zasilacza) z trzech identycznych pod względem sprzętowym płytek. Każda z tych płytek zawiera swój układ CPLD sterujący pracą dwóch lamp. Okazuje się, że pomimo bardzo dużego podobieństwa pod względem sprzętowym zaimplementowane układy logiczne znacznie się różnią. Przyjrzyjmy się poszczególnym implementacjom.

LICZNIK SEKUND. Schemat dla tego modułu pokazano na rysunku 4. Na samej górze

widoczne są dwa liczniki 8-bitowe. Do 6-wejściowej bramki AND dołączone są wyprowadzenia Q7, Q6, Q5, Q4, Q3, Q1. Po wystąpieniu na tych pozycjach jedynek licznik ulegnie zresetowaniu. Kombinacja ta odpowiada liczbie 1111 1010 (w systemie binarnym), co daje 250 w systemie dziesiętnym. Zatem każdy z tych dwóch liczników zapewnia podział częstotliwości wejściowej przez 250. Dzielnik częstotliwości generatora kwarcowego (1MHz) dwukrotnie przez 250, otrzymujemy 16, zatem konieczne jest podzielenie jej jeszcze przez 16, aby otrzymać impuls równo co 1 sekundę. Dzielenie takie odbywa się za pomocą czterech dwójek liczących. Istnieje oczywiście możliwość zastosowania sześciu liczników modulo 10, ale rozwiązanie to potrzebuje znacznie więcej zasobów.

Impuls 1-sekundowy jest wprowadzany na wejście licznika modulo-10, który odpowiada za zliczanie jednostek sekund. Po przepełnieniu licznika, na najstarszym bicie występuje zbocze opadające, które po zastosowaniu negatora jest zamieniane na zbocze narastające służące do zwiększenia wartości drugiego licznika zliczającego dziesiątki sekund. Licznik ten liczy modulo 6. Jego najstarszy bit nie jest wykorzystywany, gdyż w żadnym momencie pracy nie potrzebujemy liczby 8. Wyjście Q2 tego licznika jest wyprowadzane na port układu CPLD, trafia do złącza SYSTEM_OUT i

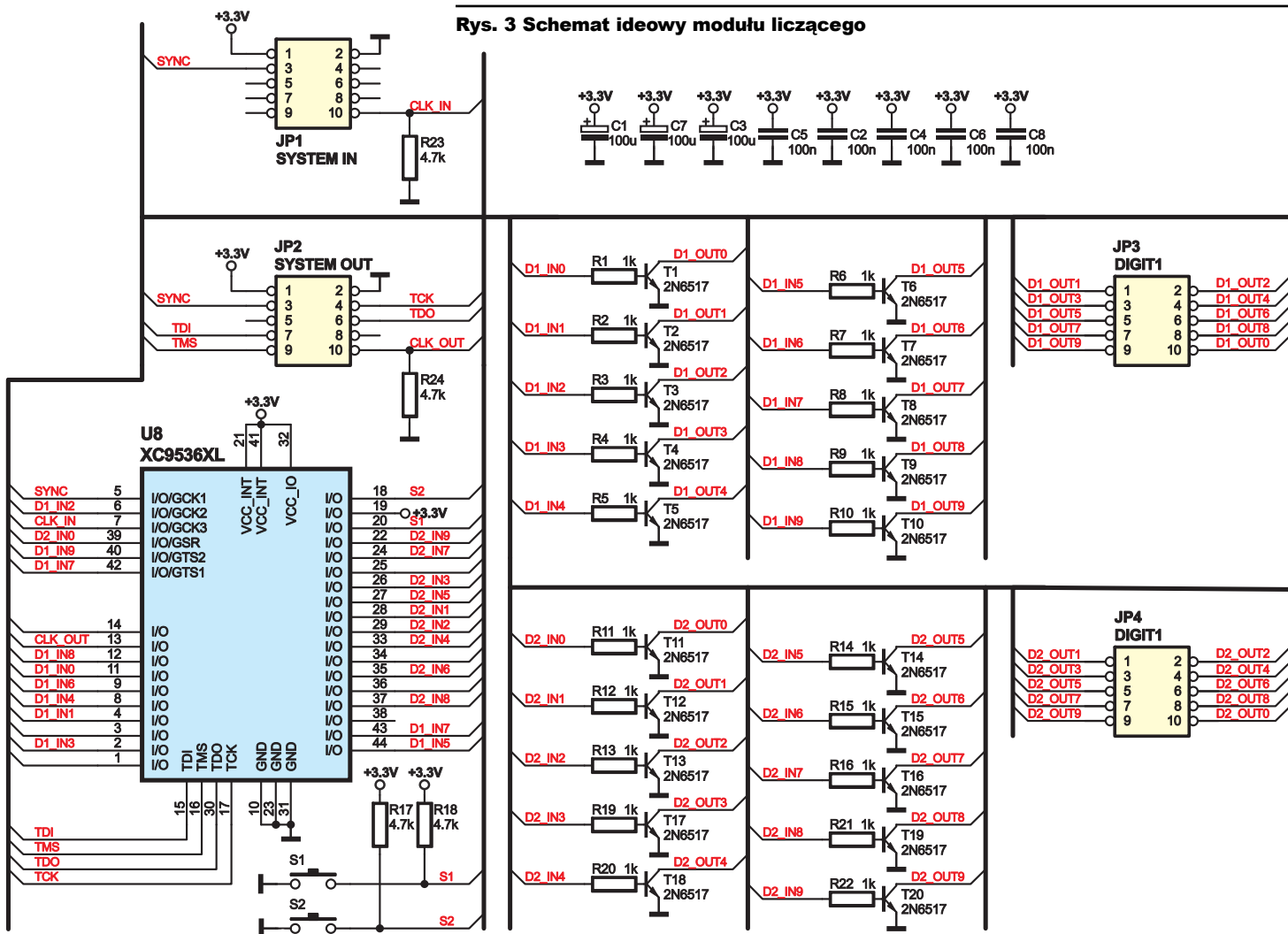
występujące tam impulsy zostaną wykorzystane do taktowania licznika odpowiedzialnego za zliczanie jednostki minut. Zwracam uwagę, że nie ma tu bramki NOT (zaraz do tego wrócę).

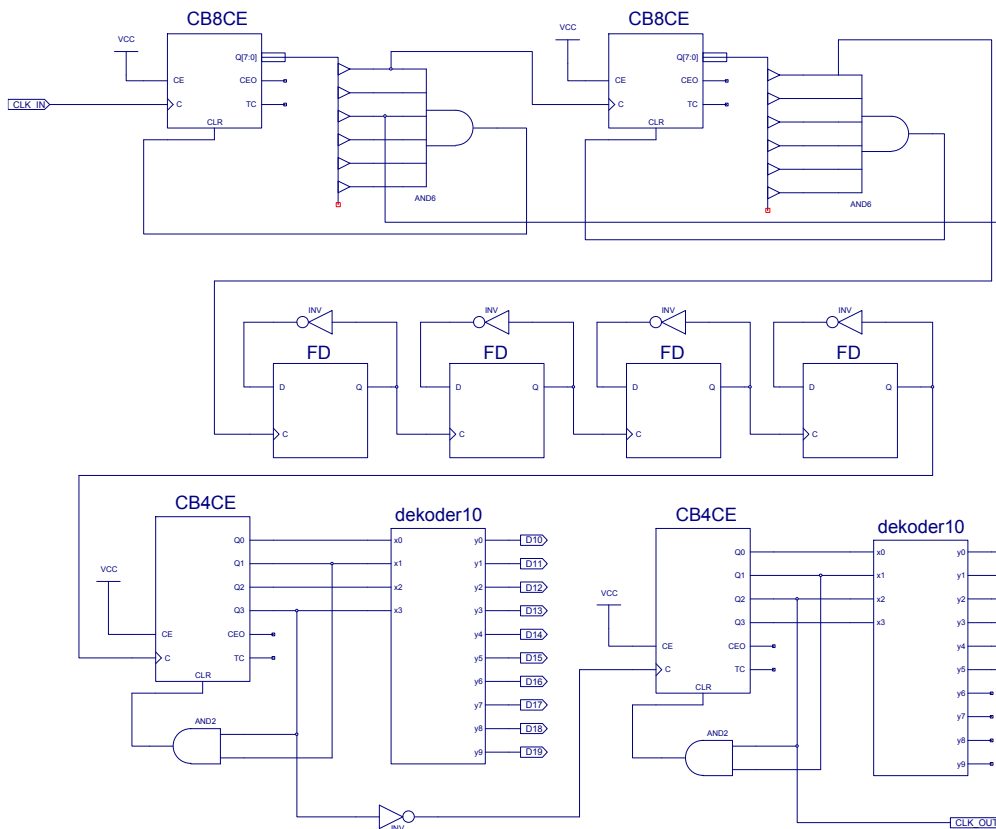
Na schemacie jest obecny jeszcze jeden symbol, który nie pochodzi z biblioteki – *dekoder10*. Jego wewnętrzny schemat został przedstawiony na rysunku 5. Pełni on dość intuicyjną funkcję – zamienia kod binarny na kod 1 z 10. Oznacza to, że na jego wyjściach pojawia się tylko jedna jedynka, której pozycja zależy od liczby binarnej obecnej na wejściu. Jedynka ta jest wykorzystywana doysterowania tranzystora włączającego daną katodę lampy NIXIE. Tu również można było pójść na łatwiznę i wykorzystać element z biblioteki. Jednak obecny na schemacie dekodek powstał w momencie, gdy jeszcze wierzyłem, że uda mi się zmieścić cały projekt w układzie XC9536XL. Potrzebuje on mniej zasobów niż wersja 16-wyjściowa.

Jako ciekawostkę można potraktować to, że licznik pierścieniowy zbudowany z przerzutników D (szczegóły w czwartej części kursu CPLD) był jeszcze bardziej oszczędny pod względem zasobów. Jedyna jedynka przemieszczała się w takt kolejnych impulsów zegarowych i dzięki temu licznik i dekodek były zintegrowane w tym jednym układzie.

Warto zauważyć, że z pierwszego licznika pobierane są impulsy synchronizacji, ale o tym za chwilę.

Rys. 3 Schemat ideowy modułu liczącego





Rys. 4 Schemat ideowy licznika sekund

LICZNIK MINUT. Widoczny na rysunku 6 schemat dla tego modułu jest dość prosty. Obecny jest tu licznik modulo-10 (do zliczania jednostek minut) oraz licznik modulo-6 (zliczający dziesiątki minut). Stowarzyszone są z nimi stosowne dekodery kodu binarnego na kod 1 z 10, omówione przed chwilą.

Port CLK_IN dostarcza impulsów o okresie wynoszącym 60 sekund. Można sobie wyobrazić (a w zasadzie tak właśnie jest), że jest on połączony z portem CLK_OUT z modułu licznika sekund. Jak wspomniano, sygnał ten nie był zanegowany, chociaż powinien, bo licznik zlicza zbocza narastające, a nie opada-

jące. Negacji dokonuje jednak bramka XOR, do której dołączony jest dodatkowo przycisk. Przez cały czas, gdy nie jest wciśnięty, na porcie wejściowym znajduje się stan wysoki i bramka XOR pracuje jak negator. Wynika to z tego, że po pojawieniu się na drugim wejściu bramki sygnału wysokiego wyjście przechodzi w stan niski, a gdy jest tylko jeden sygnał wysoki (CLK_IN ma stan niski), to na wyjściu jest stan wysoki. Bramka ta spełnia jeszcze jedną ważną funkcję – umożliwi ręczną zmianę stanu licznika. Wcisnąc przycisk, sprawiamy, że wyjście bramki zmienia stan – pojawia się impuls wymuszający zmianę stanu licznika. Łatwo to

prześledzić na przykładzie – gdy port CLK_IN ma stan wysoki i port S1 również, to na wyjściu jest stan niski. Po naciśnięciu przycisku jedno z wejść bramki ma stan niski, a drugie wysoki, w związku z czym wyjście bramki przechodzi w stan wysoki. Po puszczeniu przycisku sytuacja zmienia się analogicznie – dwa stany wysokie dają stan niski.

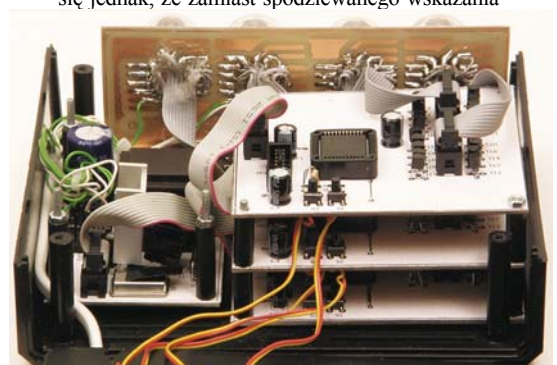
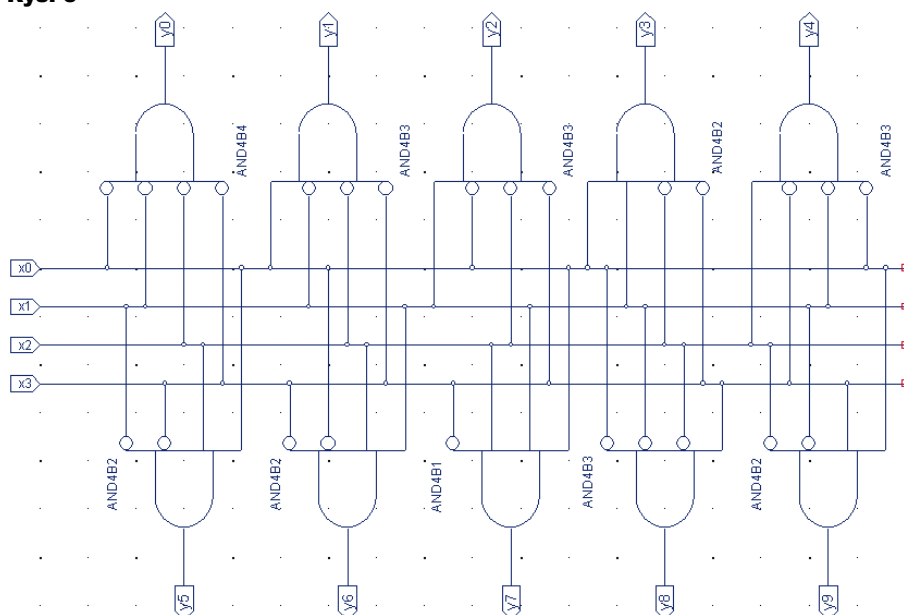
Ustawianie dziesiątek minut odbywa się w sposób identyczny, sygnał wyjściowy z pierwszego licznika również jest negowany za pomocą bramki XOR. Podobnie uzyskiwany jest sygnał zegarowy o okresie jednej minuty – z wyjścia Q2 licznika.

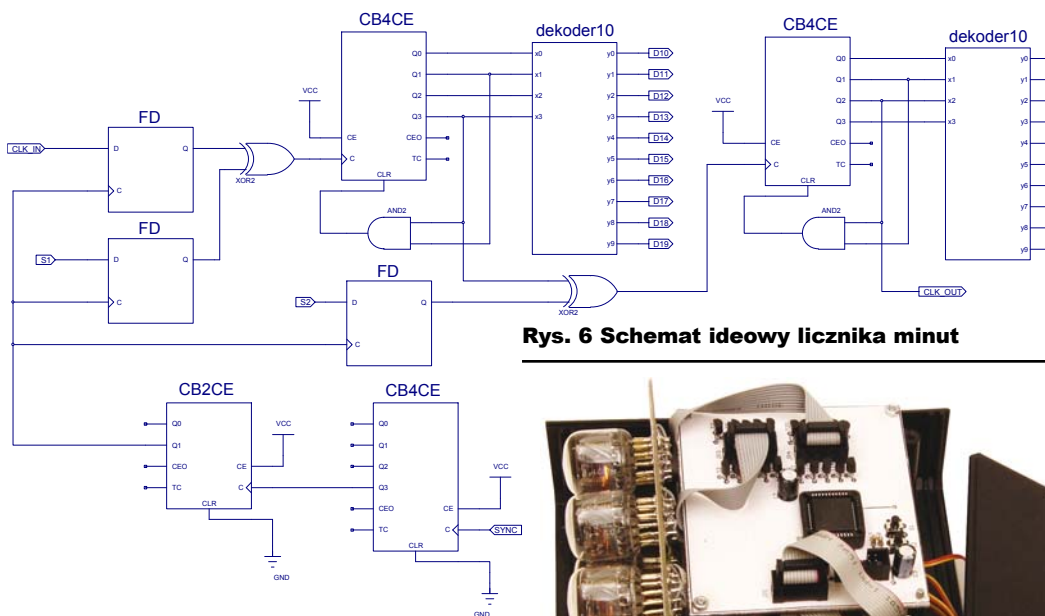
Sygnał SYNC jest wstępnie dzielony i służy do taktowania przerzutników D. Zapewnia to eliminację drgań zestyków przycisków S1 oraz S2, a także pozwala „usunąć” zakłócenia z linii CLK.

LICZNIK GODZIN. Schemat tego modułu (rysunek 7) różni się dość znacznie od poprzednich głównie układem resetującym, który jest znacznie bardziej skomplikowany. Wynika to z nieregularności w zliczaniu – gdy na liczniku dziesiątek godzin jest wartość zero lub jeden, to zliczanie pierwszego licznika mieści się w zakresie 0...9, natomiast gdy na drugim liczniku jest dwa – zliczanie odbywa się tylko w granicach 0...3. W związku z tym pierwszy licznik może być resetowany przez dwa zdarzenia: wystąpienie liczby dziesięć lub cztery, zależnie od stanu wyjść drugiego licznika. Dwa źródła sygnału zerującego wymusiły zastosowanie bramki OR dołączonej do wejścia CLR. Pojawienie się sygnału resetującego (jedynek logiczna) spowoduje pojawienie się stanu wysokiego na wyjściu bramki i w efekcie licznik zostanie zresetowany.

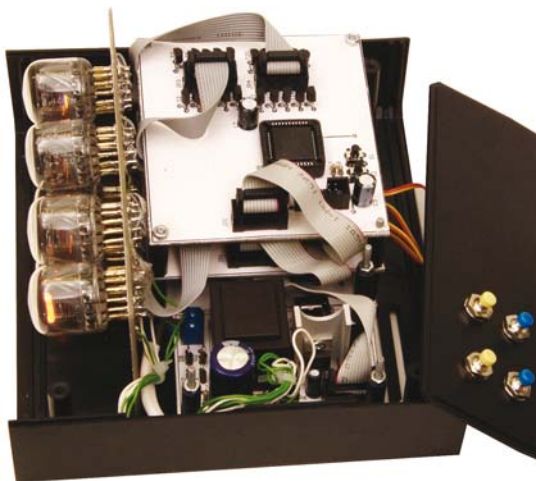
Resetowanie drugiego licznika również nie jest tak łatwe, jak to miało miejsce w poprzednich modułach. Należy wziąć tu również pod uwagę stan poprzedniego licznika, stąd obecność bramki AND, do której dołączono wyjście Q2 pierwszego licznika i wyjście Q1 drugiego licznika. Na wyjściu tej bramki pojawi się stan wysoki w momencie, gdy na wyjściach pierwszego i drugiego licznika pojawią się liczby, odpowiednio, cztery i dwa. W czasie prowadzenia prób okazało się jednak, że zamiast spodziewanego wskazania

Rys. 5





Rys. 6 Schemat ideowy licznika minut



00, na lampkach pojawiało się wskazanie 04, co sugerowało, że pierwszy licznik nie zdążył się zresetować. Problem polega na tym, że po zresetowaniu drugiego licznika zamiast dwójki na wyjściu mamy zero i w efekcie 04, co z punktu widzenia układu resetującego jest stanem prawidłowym, więc zerowanie zostaje przerwane. Rozwiązaniem tego problemu jest użycie prostego przerzutnika RS złożonego z dwóch bramek NOR. Impuls resetujący ustawia stan wysoki i liczniki są resetowane. Przerzutnik ten jest resetowany przez stan niski sygnału zegarowego, zatem przed pojawieniem się zbocza narastającego (zwiększenie wartości licznika o kolejną godziną) wyjście przerzutnika ma stan niski i liczniki nie są resetowane. Również naciśnięcie przycisku, na skutek pojawienia się stanu niskiego na wyjściu bramki XOR, powoduje wyzerowanie wyjścia przerzutnika RS.

Również w tym układzie znajduje się sygnał synchronizacji SYNC, który służy do eliminacji drgań zestyków oraz usuwania śmieci z sygnału zegarowego CLK_IN.

EMI – Ekstremalna Męka Inżyniera

Tytuł tego rozdziału to oczywiście żart. Tak naprawdę skrót EMI oznacza *Electromagnetic Interference*, czyli zaburzenia elektromagnetyczne. Postanowiłem napisać kilka słów o tym zagadnieniu, gdyż było dość uciążliwe i załamujące.

Wszystko zaczęło się od przestawiania zegara – ot czasem godzinna przeskoczyła trochę do przodu, czasem to wskazanie minut się zwiększyło... W pierwszym odruchu sądziłem, że po prostu niechcący nacisnąłem przyciski ustawiania godziny znajdujące się na tylnym panelu obudowy. Kiedy wykluczyłem tą możliwość, przyjąłem tezę, że to obecność pola elektromagnetycznego. Położyłem więc

dzwoniącą komórkę na obudowie, jednakże godzina nie uległa zmianie. Wzbudziło to moją wątpliwość co do teorii z zaburzeniami wytwarzanymi przez fale radiowe. Któregoś razu, przy włączeniu biurkowej lampki halogenowej, godzina przeskoczyła. Włączyłem jeszcze raz – znowu. No to zacząłem eksperymentować w tym kierunku. Wcisnąłem włącznik lampy tak, że halogen mrugał – zegar wtedy „popłynął”: godzina zmieniała się cały czas. Potem wyciągnąłem wiertarkę, po jej uruchomieniu zegar również wariował. Po chwili przełączyłem ją do osobnego kontaktu, chcąc ustalić, z jakiej odległości fale elektromagnetyczne są w stanie szkodzić. Po zbliżeniu wiertarki do zegara nic się nie stało. Nie powiem, zdziwiło mnie to, ale pozwoliło postawić trafniejszą diagnozę: zakłócenia przedostają się przez sieć elektryczną. Świadczy o tym głównie fakt, że zegar zmieniał swoje wskazanie w sposób niekontrolowany, gdy wiertarka i lampka były podpięte do tej samej listwy zasilającej.

Po ustaleniu przyczyny należało znaleźć jakieś rozwiązanie. Pierwszym krokiem było dodanie linii SYNC do projektu, czyli sygnału zegarowego do synchronizacji. Jej działanie tak naprawdę bazuje na pewnej sztuczce – linia SYNC jest podłączona do liczników, które z kolei wyzwalają przerzutniki D. Wyzwolenie takiego przerzutnika wymaga kilkudziesięciu impulsów zegarowych, stąd ich krótkie serie są po prostu ignorowane. Okazało się, że poprawa była znacząca, zegar sporadycznie poddawał się zaburzeniom z sieci i w znacznie mniejszym stopniu. Mimo to zastosowałem jeszcze jeden mechanizm. Ponowne spojrzanie na schemat z rysunku 1 pozwoli zaobserwować, że stabilizatory napięcia 5V i 3,3V znajdują się za transformatorem, który zasadniczo przenosi wąskie pasmo częstotliwości w okolicach 50Hz, tłumi natomiast zakłócenia o większej częstotliwości. Inaczej wygląda sprawa z zasilaniem lamp – w pierwotnej wersji urządzenia nie było dławika L1, tylko rezystor.

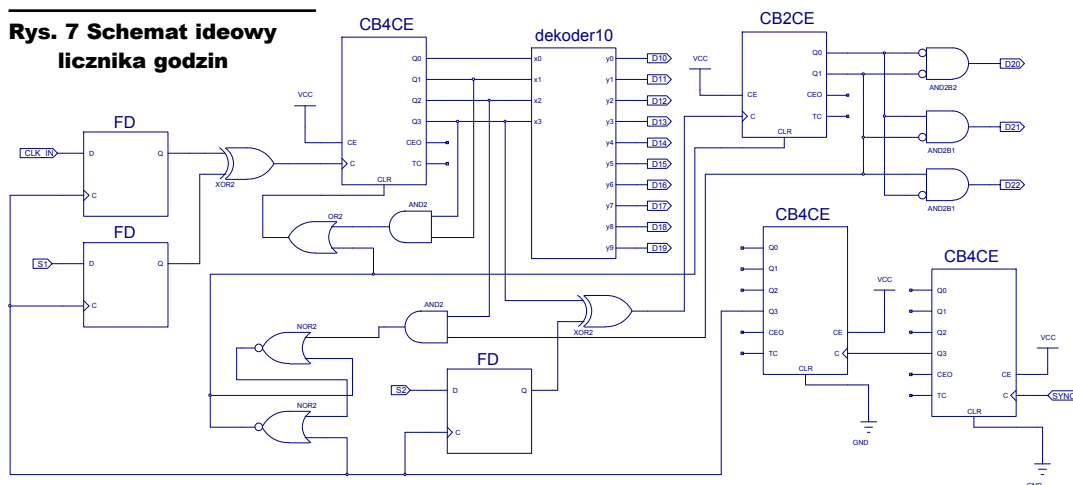
Tą drogą zakłócenia również przedostawały się do układu, gdyż filtr pojemnościowy złożony z C7 był niewystarczający. Po zastosowaniu dławika L1 zegara nie udało mi się przestawić za pomocą lampki i wiertarki...

Morał z tej historyjki jest taki, że często to nie błędy w urządzeniu powodują nieprawidłową pracę i przedwczesne siwienie, ale właśnie czynnik EMI. Zatem projektując urządzenie, należy zawsze o tym pamiętać. Należy skracać ścieżki na PCB, jak się tylko da (im dłuższa, tym lepsza z niej antena), blokować zasilanie kondensatorami 100nF i przed wejściem zasilającym wrażliwych podzespołów stosować dławiki.

Montaż i uruchomienie

Urządzenie zostało umieszczone w obudowie KM-85. Przedni panel został zastąpiony bezbarwnym odpowiednikiem, co pozwoliło uniknąć problemów z wierceniem otworów pod lampy. Na spodzie obudowy wywiercone zostały otwo-

Rys. 7 Schemat ideowy licznika godzin



ry na śruby (średnica 3mm, długość 55mm), po włożeniu których można umocować płytki drukowane. Wszystkie moduły z układami CPLD (**rysunek 8**) zostały zamocowane na śrubach, jeden nad drugim, a pomiędzy nimi znajdują się tulejki dystansowe (plastikowe) o długości 20mm. Poszczególne płytki są połączone tasiemkami z zacięniętymi złączami IDC-10. Ten sam sposób został wykorzystany do dołączenia lamp NIXIE. Wszystkie lampy znajdują się na dedykowanym panelu wykonanym w formie płytki PCB (**rysunek 9**). Na przewody nie ma przewidzianych otworów, aby nie pogorszyć estetyki urządzenia (dziury w okolicach lamp). Wszystkie przewody są przylutowane bezpośrednio do ścieżek drukowanych. Płytkę tę spełnia dwie ważne funkcje: po pierwsze, likwiduje problem równomiernego rozmieszczenia lamp i sposobu ich umocowania. Po drugie, nie udało mi się przylutować przewodu bezpośrednio do wyprowadzeń lampy, być może wymagałoby to użycia agresywnego topnika. Zamiast tego odzalałem i zniszczyłem parę żeńskich złączy LPT, a pozyskane w ten sposób piny wlutowałem w płytkę i w nich umieściłem lampy. Gdyby ktoś miał ochotę powtórzyć ten „numer”, to informuję, że nie potrzeba żadnych specjalnych narzędzi, wystarczy zwykłe kombinierki. Po chwyceniu blaszki w miejscu gdzie jest otwór na śrubę wystarczy kilkanaście razy ją powyginać, aby pękła. Potem można spokojnie rozłożyć złącze.

Płytkę zasilacza (**rysunek 10**) również została przytwierdzona za pomocą śrub oraz tulejek dystansowych i podłączona do pierwszej płytki taśmą ze złączami IDC-10.

Na obudowie urządzenia nie można niczego kłaść, aby zagwarantować prawidłowe chłodzenie. Zasadniczo microswitche należy wlutować w wszystkie trzy płytki, gdyż oprócz możliwości ustawienia godziny pełni ona jeszcze jedną funkcję – pracują jako zworki. Zamiast nich można wlutować zworki z drutu. Odradzam używanie tych przycisków do ustawiania godziny ze względu na możliwość porażenia prądem elektrycznym. Znacznie lepszym rozwiązaniem jest kupno przycisków przeznaczonych do pracy w sieci 230V (odbijających), które są bezpieczniejsze. Poza tym

mają tę zaletę, że można je łatwo przykręcić do obudowy (po wykonaniu stosownych otworów) i ustawiać tym samym godzinę bez demontażu urządzenia. Zasadniczo wystarczy cztery takie przyciski, gdyż sekund nie można ustawiać, więc nie trzeba ich lutować do „pierwszej” płytki.

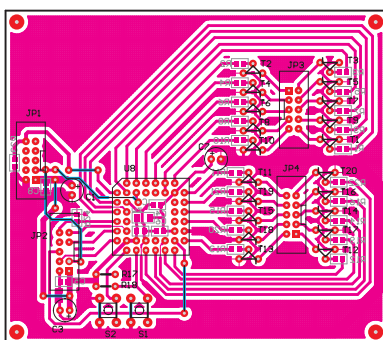
Oczywiste jest, że układy CPLD wymagają zaprogramowania. Można do tego celu wykorzystać płytkę kursu CPLD – po włożeniu do podstawki układ programujemy i przekładamy następnie do zegara. Czytelnicy posiadający osobny programator JTAG mogą wykorzystać złącze SYSTEM_OUT, do którego podłączone są stosowne porty interfejsu JTAG. Zwracam uwagę na ostrożne obchodzenie się z urządzeniem, gdyż wszystkie pomyłki mogą skutkować całkowitym uszkodzeniem programatora i/lub komputera. Na czas programowania znacznie lepiej zasilić płytkę z innego zasilacza dającego napięcie 3,3V, co wyeliminuje ryzyko przedostania się napięcia sieciowego na wejścia programatora wskutek zwarć lub pomyłek montażowych.

Kondensatory elektrolityczne w zasilaczu zostały wlutowane od strony druku, aby zostawić więcej miejsca na radiatory.

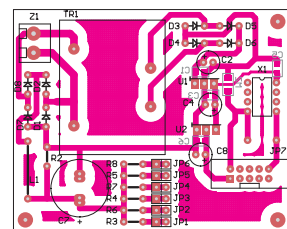
Możliwości zmian

Budując ten zegar, warto również wstawić transformator większej mocy, gdyż ten obecny w modelu (3VA) pracuje przy obciążeniu zbliżonym do maksymalnego, czemu towarzyszy duża ilość wydzielanego ciepła. Optymalnym wyborem wydaje się być transformator toroidalny o mocy 20W. Należy zatroszczyć się również o dobre chłodzenie stabilizatorów napięcia, gdyż wydzielające się w nich moce powodują sporą emisję ciepła. Bardziej zaawansowani Czytelnicy mogą

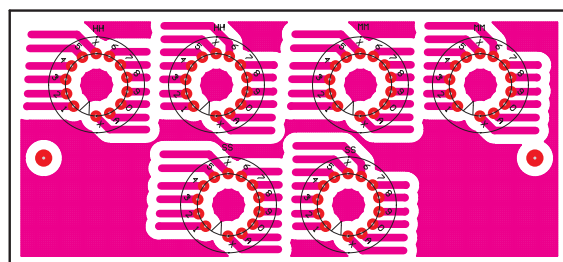
Rys. 8 Schemat montażowy modułu z układami CPLD - skala 50%



Rys. 10 Schemat montażowy zasilacza - skala 50%



Rys. 9 Schemat montażowy panelu lamp - skala 50%



pokusić się o wymianę płytki zasilacza na wersję zawierającą stabilizator impulsowy.

Zastosowanie układów programowalnych oraz wiedza nabyta w kursie CPLD powinny umożliwić swobodne manipulowanie prescalerem zaimplementowanym w układzie programowalnym odpowiedzialnym za zliczanie sekund. Jak wiadomo, generator kwarcowy nigdy nie będzie miał częstotliwości znamionowej (1MHz), gdyż proces wytwarzania tego elementu charakteryzuje się pewnym rozrzutem parametrów. Obserwując pracę zegara przez kilka dni nie powinno być problemów z wyznaczeniem odchylenia częstotliwości. Po dostrojeniu dzielnika zegar będzie charakteryzował się znacznie większą dokładnością. Przykładowo po ustaleniu, że po tygodniu spóźnia się on o jedną minutę, można wyliczyć procentowy błąd. Obliczamy, że tydzień to 7 dni * 24 godziny * 60 minut = 10080 minut, ale spóźniający się zegar zliczył o jedną mniej, czyli 10079 minut, co daje: $10079 / 10080 * 100\% = 99,99\%$. Można teraz wyliczyć rzeczywistą częstotliwość generatora: $1\ 000\ 000\text{Hz} * 99,99\% = 999\ 900\text{Hz}$ i należy wtedy zmienić dzielnik z 1 000 000 na 999 900. Chcąc być jeszcze bardziej dokładnym, można się pokusić o wyliczenie odchyłki w sekundach. Oczywiście całe rozważanie opiera się na założeniu, że dysponujemy dobrym wzorcem czasu, np. emitowanym sygnałem z Głównego Urzędu Miar w Polskim Radiu.

Wykaz elementów	
Moduł liczący	C1,C3,C5,C6 ... 100nF SMD 0805
R1-R16,R19-R22...	1kΩ SMD 0805
R17,R18	4,7kΩ
R23,R24	4,7kΩ SMD 0805
C1,C3,C7...	100μF
T2,C4-C6,C8...	100nF SMD 0805
T1-T20...	2N6517
U8	XC9572XL
JP1-JP4...	.kdc-10
Zasilacz	TR1
R2	470kΩ
R3-R8	220kΩ
C2,C4	100μF
C7	47μF/400V
C8	47μF
D1-D8	1N4007
U1	LM7805
U2	SPX1117-3,3
JP1-JP6	jumper x2
JP7	.kdc-10
L1	2,2mH (dławik osiowy)
TR1	BV EI 305 2051
X1	1MHz
Z1	ARK2

Płytki drukowane są dostępne w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2911.

Uwaga!!! W urządzeniu występuje niebezpieczne napięcie sieci, które może spowodować śmiertelne porażenie prądem elektrycznym. Co więcej kondensator ładuje się do napięcia 320V, więc po odłączeniu układu od sieci należy go najpierw rozładować poprzez zwarcie wyprowadzeń izolowanymi szczypcami lub podobnym narzędziem. Niepełnoletni Czytelnicy mogą wykonać opisany układ tylko pod nadzorem wykwalifikowanych osób dorosłych. Urządzenie musi być obowiązkowo umieszczone w obudowie, aby wyeliminować ryzyko przypadkowego dotknięcia elementów pracujących pod napięciem.

Jakub Borzdyński
jakub.borzdyński@elportal.pl