

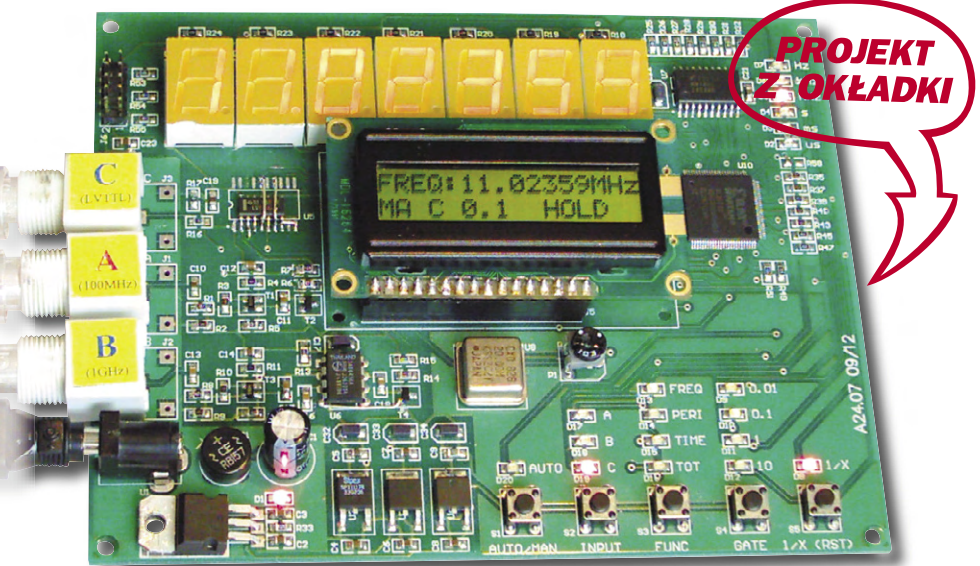
Uniwersalny miernik: częstotliwości, czasu, okresu na FPGA, część 1

AVT-5115

Jednym z przyrządów bardzo często wykorzystywanych w pracowni elektronika jest miernik częstotliwości. Tego typu przyrządy pomiarowe noszą czasem nazwę liczników uniwersalnych i oprócz pomiaru częstotliwości oferują również pomiar innych parametrów takich jak okres, czas trwania impulsu czy też całkowita liczba impulsów w pewnej grupie. W artykule przedstawiono opis budowy takiego licznika do którego konstrukcji wykorzystano układy programowalne FPGA oraz język opisu sprzętu Verilog.

PODSTAWOWE PARAMETRY

- pomiar częstotliwości, okresu, czasu trwania impulsu (z funkcją stopera), całkowitej liczby impulsów,
- automatyczna zmiana zakresu,
- pomiary w trybie licznika konwencjonalnego i odwrotnego,
- podwójny wyświetlacz 7-cyfrowy, 7-segmentowy LED i/lub alfanumeryczny LCD 2x16 znaków,
- maksymalna rozdzielczość pomiaru częstotliwości: 10^{-6} Hz, czasu: 10 ns,
- trzy wejścia pomiarowe:
 - wejście A: zakres częstotliwości: 30 Hz...100 MHz, czułość $S < 75$ mV ($f = 10$ MHz), impedancja wejściowa $Z_{in} > 1,3$ M Ω ($f = 1$ kHz),
 - wejście B: zakres częstotliwości: 70 MHz – 1 GHz, czułość (bez wtórniaka T4) $S \approx 10$ mV, impedancja wejściowa $Z_{in} = 50$ Ω ,
 - wejście C: wejście cyfrowe LVTTTL (z tolerancją 5 V), zakres częstotliwości od 0 do ok. 150 MHz
- zasilanie minimum 6 VAC lub 7,5 VDC



Prezentowany licznik uniwersalny umożliwia pomiar częstotliwości, okresu, czasu trwania impulsu oraz całkowitej liczby impulsów występujących na danym wejściu pomiarowym. Licznik został wyposażony w podwójny wyświetlacz: 7-cyfrowy, 7-segmentowy wyświetlacz LED oraz alfanumeryczny wyświetlacz LCD. Obydwa wyświetlacze mogą pracować jednocześnie lub w urządzeniu może być zastosowany tylko jeden z nich. W przypadku pomiaru częstotliwości oraz okresu przebiegu wejściowego miernik posiada funkcję automatycznej zmiany zakresu pomiarowego, umożliwiającą wykonanie pomiarów z optymalną, w danych warunkach, rozdzielczością. Miernik oferuje również pomiar częstotliwości w trybie tzw. licznika odwrotnego, w którym częstotliwość przebiegu wejściowego wyliczana jest na podstawie pomiaru okresu tego przebiegu. Dzięki temu możliwy jest pomiar niskich częstotliwości w czasie rzeczywistym z dużą rozdzielczością.

Urządzenie posiada trzy wejścia pomiarowe. Jedno wyposażone w prosty, szerokopasmowy wzmacniacz, drugie – ze wstępnym dziel-

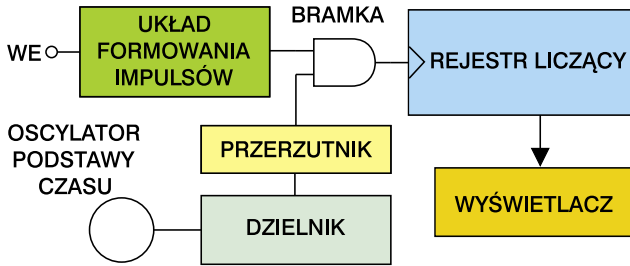
nikiem częstotliwości (preskalerem), umożliwiającym pomiar częstotliwości sygnałów do ponad 1 GHz, oraz trzecie – wejście cyfrowe zgodne ze standardem LVTTTL.

Cała część cyfrowa urządzenia została opisana w języku Verilog i zaimplementowana w układzie programowalnym o architekturze FPGA (Xilinx Spartan 3) z wykorzystaniem bezpłatnego pakietu oprogramowania Xilinx WebPack ISE.

Podstawy działania liczników uniwersalnych

Ogólnie liczniki uniwersalne można podzielić na działające w sposób konwencjonalny oraz liczniki odwrotne (*reciprocal counters*). Liczniki konwencjonalne to takie, które realizują bezpośredni pomiar częstotliwości. Liczniki odwrotne stanowią stosunkowo nową klasę liczników, w których dokonywany jest systematycznie pomiar okresu sygnału. Jeżeli wymagana jest informacja o częstotliwości przebiegu wówczas jest ona obliczana poprzez wykonanie operacji odwrócenia wartości okresu przebiegu.

Bezpośredni pomiar częstotliwości przebiegu okresowego w liczni-



Rys. 1. Pomiar częstotliwości w liczniku konwencjonalnym

kach działających w sposób konwencjonalny polega na zliczaniu oscylacji danego przebiegu i podzieleniu jej przez określony interwał czasu, zgodnie z formułą:

$$f = n/t,$$

gdzie:

f – częstotliwość,

n – liczba oscylacji sygnału mierzonego przypadająca na interwał czasu t .

Podstawowy schemat blokowy licznika realizującego taki sposób pomiaru częstotliwości pokazano na rys. 1.

Rejestr liczący zlicza impulsy z wejścia pomiarowego, ukształtowane w układzie formowania impulsów do postaci fali prostokątnej, w czasie gdy otwarta jest bramka główna. Czas otwarcia bramki jest wyznaczany przez okres impulsów z dzielnika częstotliwości, do którego jest doprowadzony przebieg z generatora podstawy czasu. Jeżeli czas ten jest potęgą liczby 10 ($t = 10^i$ sekundy, gdzie i jest zazwyczaj niewielką liczbą całkowitą, np.: $i \in \{-2, -1, 0, 1\}$), wówczas liczba zliczonych impulsów w rejestrze liczącym (liczniku) bezpośrednio odpowiada częstotliwości

mierzonego sygnału i może być, bez żadnych obliczeń arytmetycznych, bezpośrednio zaprezentowana na wyświetlaczu (w zależności od liczby i konieczne będzie jedynie odpowiednie przesunięcie kropki dziesiętnej).

Okres P sygnału mierzonego jest odwrotnością jego częstotliwości f : $P = 1/f$, czyli $P = t/n$. Stąd okres przebiegu jest definiowany jako czas, w którym sygnał mierzony wykonuje jeden pełny cykl oscylacji.

Podstawowy schemat blokowy licznika konwencjonalnego pracującego w trybie pomiaru okresu przedstawiono na rys. 2.

W tym przypadku czas otwarcia bramki jest kontrolowany przez częstotliwość przebiegu wejściowego. Rejestr liczący zlicza wówczas impulsy z dzielnika częstotliwości generatora podstawy czasu przez czas równy okresowi sygnału wejściowego. Możliwa jest również sytuacja kiedy impulsy są zliczane przez czas kilku (wielu) okresów (w praktyce jest to realizowane przez zastosowanie dekadowego dzielnika częstotliwości sygnału wejściowego). Wówczas dokonywany jest uśredniony pomiar okresu, a taki sposób pomiaru określa się jako pomiar z wielokrotnym uśrednianiem (*multiple period averaging*).

Sposób pomiaru interwału czasowego (czasu trwania impulsu) jest bardzo podobny do pomiaru okresu. Podstawowy schemat blokowy

układu realizującego taki pomiar pokazano na rys. 3.

Bramka główna jest tutaj sterowana przez dwa niezależne wejścia: START – otwierające bramkę i STOP – zamykające bramkę. Liczba impulsów dzielnika podstawy czasu zliczona w rejestrze liczącym w czasie otwarcia bramki określa czas trwania mierzonego interwału. Dwa niezależne wejścia, wyposażone w układy formowania impulsów, umożliwiając np. pomiar czasu przejścia sygnału pomiędzy dwoma różnymi poziomami napięć (poziomami wyzwalania) w badanym impulsie.

Budowa liczników odwrotnych jest zasadniczo zbliżona do konstrukcji liczników konwencjonalnych, z wyjątkiem tego, iż zliczanie odbywa się przy użyciu dwóch (a nie jednego) rejestrów liczących, oddzielnie dla zliczania czasu i zliczania zdarzeń. Zawartość tych rejestrów (liczba zliczonych impulsów) jest następnie przetwarzana w układzie arytmetycznym i zależnie od potrzeb wynikiem przetwarzania jest albo wartość okresu sygnału, albo jego częstotliwości.

Uproszczony schemat blokowy licznika odwrotnego pokazano na rys. 4.

Licznik zdarzeń zlicza liczbę oscylacji (liczbę okresów) przebiegu wejściowego, podczas gdy w tym samym czasie licznik czasu zlicza impulsy z generatora podstawy czasu tak długo, jak otwarta jest bramka. Obydwa liczniki sterowane są z odpowiedniego układu sterującego, do którego, oprócz sygnału z wejścia pomiarowego, doprowadzony jest sygnał zegarowy o bardzo dużej częstotliwości (im większa częstotliwość, tym większa rozdzielczość pomiaru okresu), uzyskany w wyniku powielania częstotliwości kwarcowego generatora podstawy czasu.

Ogólnie wartość okresu wyliczona przez układ arytmetyczny wyraża się zależnością:

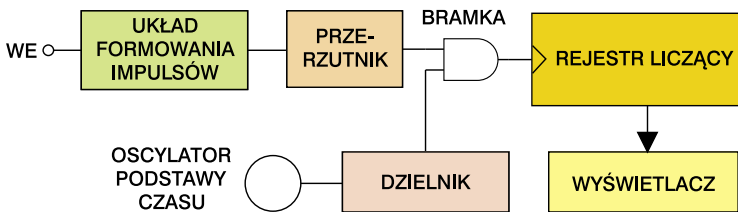
$$P = (t_b \cdot n_t) / n_e,$$

gdzie:

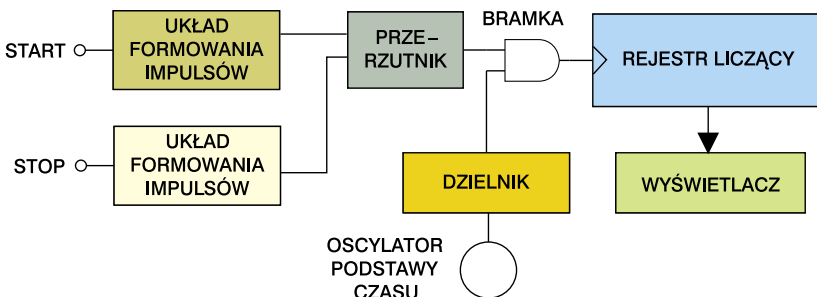
t_b jest okresem sygnału zegarowego uzyskanego w powielaczu,

n_t i n_e są odpowiednio liczbą impulsów zliczonych w liczniku czasu i liczniku zdarzeń.

Licznik odwrotny może pracować w trybie pomiaru pojedynczego okresu – wówczas $n_e = 1$ lub w trybie z uśrednionym pomiarem okresu ($n_e > 1$). Jeżeli wymagana jest war-



Rys. 2. Konfiguracja toru pomiarowego podczas pomiaru okresu



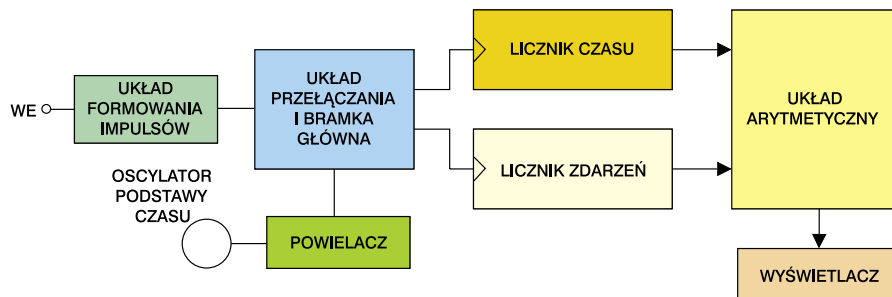
Rys. 3. Pomiar interwału czasowego

tość częstotliwości sygnału mierzonego, wówczas jest ona wyliczana w układzie arytmetycznym poprzez odwrócenie wartości okresu: $f=1/P$.

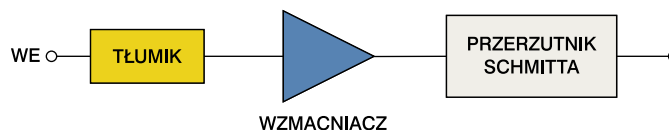
Istotnym elementem każdego licznika uniwersalnego jest wejściowy układ formowania impulsów przekształcający sygnał wejściowy o bardzo różnym kształcie i różnej amplitudzie do postaci fali prostokątnej. Najprostszy taki układ składa się z tłumika wejściowego, wzmacniacza i przerzutnika Schmitta (rys. 5).

Bardziej złożone układy sterowania impulsów, takie jak np. pokazany na rys. 6 integrują w sobie in. układy automatycznej regulacji wzmocnienia (ARW), układy zabezpieczające przez krótkimi impulsami o dużej amplitudzie, układy sterowania impedancją wejściową oraz wzmacniacze o regulowanym progu wyzwalań.

Zadaniem tłumika (którego wartość tłumienia może być również sterowana przez układ ARW) jest ograniczenie amplitudy sygnału na wejściu kolejnego stopnia – najczę-



Rys. 4. Uproszczone schemat budowy licznika odwrótnego



Rys. 5. Prosty układ formowania impulsów

ściej wzmacniacza, tak aby nie przekroczyć jego wejściowego zakresu dynamiki (praca wzmacniacza w liniowym zakresie charakterystyki – nie jest to co prawda tak istotne jak dla układów wejściowych oscyloskopów, ale przekroczenie zakresu dynamiki może spowodować zwolnienie czasu odpowiedzi wzmacniacza ze względu na efekty związane z nasyceniem).

Układ sterowania impedancją wejściową umożliwia zmianę impedancji wejścia. W praktyce najczęściej stosuje się dwie wartości impedancji wejściowej 1 MΩ dla częstotliwości poniżej 10 MHz i 50 Ω dla częstotliwości większych (wraz ze wzrostem częstotliwości coraz bardziej zaznacza się wpływ wejściowych, pasożytniczych pojemności bocznikujących stopnie

R E K L A M A

Telic
Polska Sp. z o.o.

Terminale GSM

Czterozakresowe
Plug&Play
Port Szerogowy RS232
Programowalne
Interfejs USB/AUDIO
Niezawodne
Szeroki zakres zasilania
SIM 1,8 i 3V
Temp. pracy -30°C...+75°C
Embedded!!!



GT864-PY Terminal
GT864-QUAD Terminal

Urządzenia Telemetryczne

Sterowanie przez telefon GSM
Plug&Play
Prosta instalacja
Uruchamianie zdalne aplikacji
Sterowanie 2x6A na wyj.
2x wyj./wej.



STD32



STD35

Sterowanie przez telefon oraz RS232
Uruchamianie zdalne aplikacji
Sterowanie 3x6A na wyj.
Plug&Play
Prosta instalacja
5x wyj./wej.

Otwieranie bram wjazdowych i garażowych
Alarmy domowe i miejscach oddalonych
Stacje pogodowe i meteorologiczne
Instalacje domowe



SYSTEMY
PARKINGOWE



BRAMY
WJAZDOWE



SYSTEMY
PRZEMYSŁOWE



WĘZŁY GAZOWE I
CIEPŁOWNICZE



ENERGETYKA



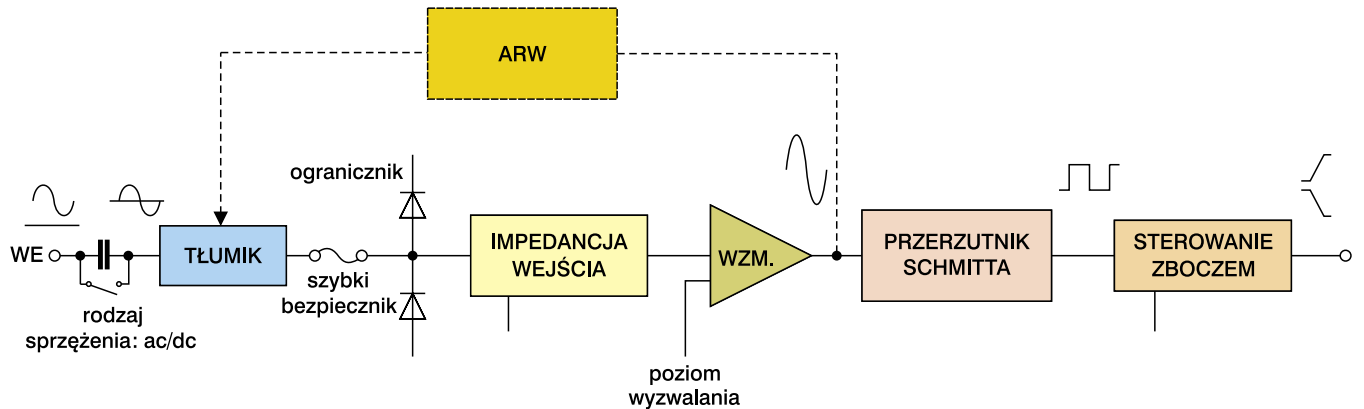
AUTOMATY DO
GIER I NAPOJÓW

Telic
Polska Sp. z o.o.

Telic Polska Sp. z o.o.
ul. Świeradowska 51-57/103
50-559 Wrocław

Tel.: +48 71 7812788
Fax: +48 71 7812789
E-mail: poland@telic.pl

www.Telic.pl



Rys. 6. Rozbudowany układ formowania impulsów

wejściowe wzmacniacze w wyniku czego ich impedancja znacząco maleje, dla impedancji 50 Ω efekt zmniejszenia impedancji wraz ze wzrostem częstotliwości jest dużo mniejszy)

Bardzo ważnym elementem każdego układu formowania impulsów jest przerzutnik Schmitta, w którym dokonuje się właściwe przekształcenie sygnału do postaci fali prostokątnej. Układ sterowania zboczem określa, czy wyzwolenie przerzutnika Schmitta ma nastąpić podczas narastającego czy opadającego zbocza sygnału wejściowego.

Zaletą układów formowania impulsów wyposażonych w pętlę automatycznej regulacji wzmacnienia jest zwolnienie użytkownika z konieczności ręcznego ustawiania wartości tłumienia sygnału wejściowego w tłumiku oraz zdolność do prawidłowego przetwarzania sygnałów o amplitudzie zmieniającej się w czasie.

Ważnym parametrem każdego układu formowania impulsów jest jego czułość wejściowa, definiowana jako minimalna wartość skuteczna sinusoidalnego sygnału wejściowego, która może być w liczniku przetwarzana. Optymalna wartość czułości zależy w znacznym stopniu od impedancji wejściowej. W praktyce dla impedancji 1 MΩ wartość tę przyjmuje się z przedziału 25...50 mV, a dla impedancji 50 Ω odpowiednio 20...25 mV. Nie zawsze duża czułość jest pożądana. Zbyt duża czu-

łość szerokopasmowego wzmacniacza wejściowego może powodować, że przypadkowe zakłócenia i sumy mogą uruchomić przerzutnik Schmitta i tym samym będą interpretowane przez licznik jako sygnał użyteczny.

W przypadku konieczności pomiarów w liczniku uniwersalnym bardzo wysokich (mikrofalowych) częstotliwości, przekraczających maksymalną możliwą do zmierzenia przez część cyfrową licznika, stosuje się kilka technik umożliwiających odpowiednią konwersję (zmniejszenie) tych częstotliwości. Są to:

- preskalowanie (zakres do ok. 1,5 GHz),
- konwersja heterodynowa (do 20 GHz),
- konwersja z oscylatorem transferynowym (do 23 GHz),
- harmoniczna konwersja heterodynowa (do 40 GHz).

Każdy pomiar wykonywany w liczniku uniwersalnym jest obarczony pewnym błędem pomiarowym. Źródła tych błędów można ogólnie podzielić na cztery kategorie:

- błąd kwantyzacji (niejednoznaczność odczytu najmniej znaczącej cyfry wyniku pomiaru),
- błąd podstawy czasu (różnica pomiędzy aktualną częstotliwością podstawy czasu a wartością nominalną),
- błąd wyzwolenia (błąd spowodowany przez szумы w wejściowym sygnale mierzonym i szумы

powstające w układzie formowania impulsów),

- błąd systematyczny (błąd spowodowany np. dryftem histerezy punktu wyzwolenia w układzie formowania impulsów, albo różnicą w czasach narastania i opadania sygnału w obydwu wzmacniaczach w przypadku pomiaru interwału czasowego).

W przypadku pomiaru częstotliwości dokładność pomiaru ograniczają błędy kwantyzacji i błędy podstawy czasu. Dla pomiaru okresu dodatkowo istotny jest błąd wyzwolenia. Z kolei w przypadku pomiaru interwału czasowego istotne są wszystkie cztery rodzaje błędów.

Warto zwrócić również uwagę na fakt, że o ile w przypadku pomiaru częstotliwości w liczniku konwencjonalnym błąd kwantyzacji jest odwrotnie proporcjonalny do częstotliwości mierzonej ($\Delta f/f = \pm 1/f_{in}$), to dla licznika odwrotnego błąd ten może być stały, niezależny od częstotliwości mierzonej (błąd kwantyzacji pomiaru okresu $\Delta T/T = \pm t_C/T_{in}$, gdzie t_C jest okresem sygnału zegarowego, T_{in} jest okresem sygnału mierzonego – w przypadku pojedynczego pomiaru okresu lub czasem otwarcia bramki – w przypadku uśrednionego pomiaru okresu; w tym drugim przypadku błąd kwantyzacji jest stały).

Zbigniew Hajduk
zhajduk@prz-rzeszow.pl

R E K L A M A

toroidalne automatyka akustyka przemysł pomiarowa

transformatory mocy 50-400Hz (1-30 000VA), transformatory mocy do przetwornic SPMS, precyzyjne transformatory pomiarowe (przekładniki) prądu i napięcia, elementy indukcyjne do filtrów, do przetwornic impulsowych, elementy czujników, transformatory Ferrantiego, i inne wyżej nie wymienione.

dtw elektronika

www.dtw.com.pl ul. krakowska 390, 32-080 zabierzów, poland, tel.: 0048/12/283 09 50, fax:0048/12/285 35 67