

Umieć nie wiedząc...

czyli jak uniknąć błędu niestabilności kwantowania częstotściomierza cyfrowego

A teraz po kolei: na początku przypomnę klasyczną zasadę działania częstotściomierza cyfrowego, zwracając uwagę na przyczynę powstawania błędu kwantyzacji, potem zaś przedstawie zmodyfikowaną zasadę pozwalającą uniknąć tego błędu.

Interesuje nas wyeliminowanie błędu kwantyzacji, a raczej niestabilności kwantyzacji. Nie sposób jednak pozbyć się wszystkich błędów – nie istnieją pomiary „bezbłędne”. Ale o tym może kiedyś...

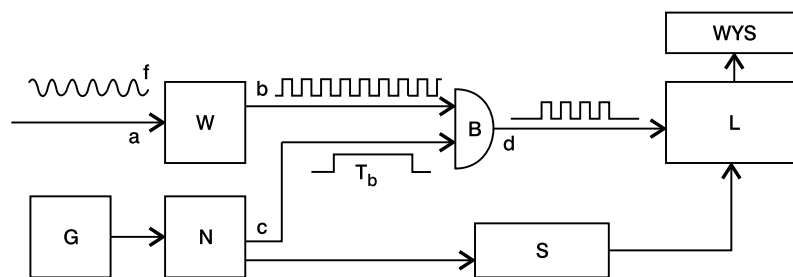
Na rys. 1 przedstawiono uproszczony, ale dla nas zupełnie wystarczający, schemat blokowy klasycznego miernika częstotliwości. Zewnętrzny przebieg zmienny (np. sinusoidalny), którego częstotliwość f należy zmierzyć, podawany jest na układ wejściowy W (punkt a). Układ ten konwertuje sygnał z wejścia na przebieg prostokątny o takiej samej częstotliwości i o poziomach odpowiednich dla dalszej – cyfrowej – części przyrządu. Przy naszych rozważaniach układ wejściowy nie jest istotny, choć w rozwiązaniach praktycznych jest bardzo ważny. Interesuje nas przebieg prostokątny (po układzie W) o częstotliwości f wchodzący na jedno z wejść bramki B (punkt b). Przyjmijmy, że B jest dwuwejściową bramką AND. Na drugie wejście tej bramki podawany jest impuls o czasie trwania T_b (czas otwarcia bramki) - w momencie, o którym decyduje układ sterujący S. Układ generujący T_b jest złożony z wysokostabilnego generatora kwarcowego G o częstotliwości f_g oraz licznika liczącego do N. Impuls T_b jest tworzony jako czas trwania N okresów generatora G. Zatem $T_b = N/f_g$. Czas ten wzięty z pomnożenia okresów generatora kwarcowego jest bardzo stabilny – na szczęście mnożyć przez niezbyt dużą liczbę naturalną zazwyczaj umiemy dokładnie!

W czasie T_b na wyjście bramki B (punkt d) przechodzi tyle impulsów z wejścia (punkt b), ile „zmieści się” w tym właśnie czasie T_b . Impulsy te licza licznik L i wizualizuje je na wyświetlaczu WYS. Liczba, którą pokaże wyświetlacz zależy więc od częstotliwości wejściowej f – na nią nie mamy wpływu, bo to ją mamy właśnie zmierzyć – oraz od częstotliwości generatora f_g , nastawy licznika N i liczby k cyfr wyświetlacza.

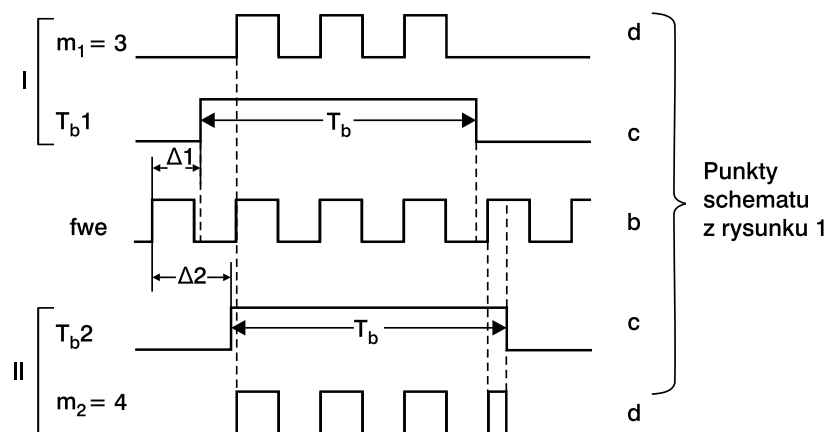
Na początku lat 80. ubiegłego wieku (i tysiąclecia!) byłem w pracy świadkiem dyskusji dwu Panów: Konstruktora i Dyrektora. Konstruktor wykonał urządzenie zawierające częstotściomierz cyfrowy i demonstrował je Dyrektorowi. Temu zaś nie podobało się, że prawa – najmniej znacząca – cyfra przyrządu często zmienia wartość o ± 1 , mimo stabilnego sygnału wejściowego. Tak właśnie objawia się błąd kwantyzacji, a raczej niestabilność kwantyzacji częstotściomierza. I to tłumaczył Konstruktor Dyrektorowi: że to wynika z zasady działania, że tak musi być itp. A Dyrektor ciągle swoje...

W tym czasie byłem w połowie studiów na Wydziale Elektroniki. Wiedziałem jaka jest zasada działania częstotściomierza, ale nie wiedziałem, że jest to zasada „jedynie słuszna”.

W trakcie dyskusji Panów przyszedł mi do głowy dziwnie prosty pomysł rozwiązania pozwalającego uniknąć tego błędu. Taki też przyrząd został zaprojektowany i był przez czas pewien produkowany.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy klasycznego miernika częstotliwości



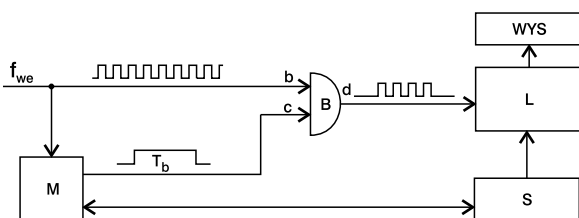
Rys. 2. Wewnętrzny cykl pracy miernika – dwa przypadki

Tymi ostatnimi – szczególnie N – możemy manipulować tak, by w prosty sposób otrzymać na wyświetlaczu mierzoną częstotliwość bez dodatkowych przeliczeń.

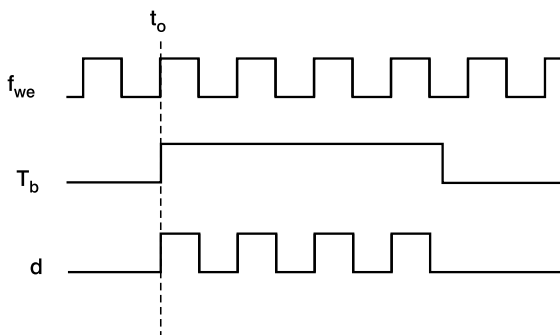
Układ sterujący S „rządzi” cyklem pracy częstotliwościomierza. Na początku jest zerowany licznik L , następnie zostaje zainicjowane generowanie czasu bramki T_b – w tym czasie licznik zlicza impulsy z wyjścia bramki B . Po zakończeniu czasu T_b układ S powoduje przepisanie stanu licznika do wyświetlacza WYS – otrzymujemy wynik. I zaczynamy kolejny cykl pracy od zerowania licznika L – w liczniku tym nie może zostać poprzedni stan, bo następowałoby sumowanie wyników. Pomiedzy kolejnymi fazami pracy układu S często stosuje się paazy, choćby po to, by przy małych czasach bramki uniknąć zbyt częstego wyświetlania wyniku.

Liczba impulsów m zliczanych przez licznik L w jednym cyklu jest proporcjonalna do czasu bramki T_b i odwrotnie proporcjonalna do okresu przebiegu wejściowego, a zatem $m = T_b \cdot f$. Jeśli więc ustawimy $T_b = 1$ [s], uzyskamy odczyt z rozdzielczością 1 Hz; jeśli ustawimy $T_b = 0,1$ [s], uzyskamy odczyt z rozdzielczością 10 Hz itd. Liczba cyfr przyrządu k , maksymalna mierzona częstotliwość f oraz rozdzielczość muszą być skorelowane tak, by m zmieściło się w k -dekadowym liczniku. Nie będziemy tu wgłębiać się w szczegóły. Interesuje nas tylko ogólna zasada.

Wydaje się, że przy stabilnej częstotliwości wejściowej i stabilnym czasie bramki, licznik w każdym cyklu pracy pokaże tę samą liczbę – a jednak... Wewnętrzny cykl pracy miernika jest niezależny od zewnętrznej częstotliwości f , zatem otwarcie bramki może nastąpić w dowolnym – występującym losowo – momencie względem fazy przebiegu wejściowego. Ilustrują to przypadki I i II przedstawione na rys. 2. W przypadku I otwarcie bramki następuje po zboczach narastającym przebiegu wejściowego ($\Delta 1$) i w czasie T_b



Rys. 3. Zmodyfikowany schemat blokowy miernika częstotliwości



Rys. 4. Bramkowanie impulsów w zmodyfikowanym generatorze



Fot. 5. Historyczny zasilacz - „sprawca” pomysłu

mieszczą się trzy impulsy – wyświetlacz pokaże 3. W przypadku II bramka zostaje „uruchomiona” nieco później i jej czas obejmuje teraz trzy pełne impulsy i część czwartego (też będzie zliczony), zatem wyświetlacz pokaże 4. Przyjmując, że nasz licznik zlicza zbocza narastające impulsów można zaznaczyć na rysunku tylko te zbocza „szpilkami”, obraz nabierze wtedy większej przejrzystości. Podobnie przy rozpatrywaniu wąskich impulsów wejściowych. Zatem wyświetlacz przyrządu będzie pokazywał czasem 3, a czasem 4. Oczywiście podobnie jest przy znacznie większej liczbie impulsów przechodzących przez bramkę – różnice w odczytach będą o 1. To właśnie powoduje „miganie” prawej cyfry częstotliwościomierza nawet przy bardzo stabilnym przebiegu wejściowym.

Jeżeli wykonamy częstotliwościomierz według zmodyfikowanego schematu blokowego przedstawionego na rys. 3, unikniemy tej niestabilności zwanej niezbyt precyzyjnie błędem kwantyzacji. W układzie tym czas bramki jest generowany przez monowibrator M wyzwalany narastającym zboczem sygnału wejściowego podawanego równocześnie na bramkę B . Oczywiście wyzwolenie to następuje po zezwoleniu z układu sterującego, którego rola jest analogiczna jak w układzie klasycznym.

Na rys. 4 pokazano, że w tym układzie czas bramki T_b zaczyna się zawsze wraz z narastającym zboczem przebiegu wejściowego, zatem w T_b mieści się zawsze taka sama liczba impulsów, dokładnie narastających zboczcy, których są zliczane. Dla licznika zliczającego zbocza opadające jest podobnie. Wynika z tego, że przy stabilnych T_b i f prawa cyfra wyświetlacza powinna być stabilna.

Dość kłopotliwym podzespołem w tym rozwiązaniu jest monowibrator M . W najprostszym przypadku można by użyć jakiegoś monowibratora z elementami RC, np. ciągle popularnego 555, jednak stabilność takiego układu pozwa-

lałyby uzyskać sensownie częstotliwościomierz raczej nie więcej niż dwucyfrowy, a to mało kogo zadowolilo.

Trzeba więc pomyśleć o monowibratorze kwarcowym. Nie może to być jednak bramkowany generator kwarcowy – błąd kwantyzacji przeniosłby się do tego generatora. Można jednak wykonać generator kwarcowy, którego drgania są wyzwalane zboczem (sygnału wejściowego). Generator taki „startuje” zawsze od tego samego półokresu drgań własnych po zboczach wyzwalającym. Dalej licznik zlicza N okresów „obudzonego” generatora, po czym go „wygasza”. Czas aktywności generatora wyznacza czas bramki. W ten sposób, czas otwarcia bramki trwa równo N okresów generatora i zaczyna się wraz ze zboczem wyzwalającym (narastającym) przebiegu wejściowego. Z takim monowibratorem kwarcowym można zrobić częstotliwościomierz o większej liczbie cyfr, zależnej od stabilności kwarcu.

Powyższe rozważania były uproszczone, chodziło bowiem tylko o przedstawienie zasady. Zasada ta jest niezwykle prosta: wyzwolić czas bramki impulsem wejściowym. Sam pomysł pochodzi z niemal „przedhistorycznych” czasów, jednak nie spotkałem podobnej realizacji.

Na marginesie: jeśli zamienimy rolę wejść bramki B – na jedno będziemy podawać impulsy generatora zegarowego, drugie zaś będziemy otwierać na czas trwania jednego okresu przebiegu wejściowego, to otrzymamy miernik okresu. Jest to szczególnie korzystne przy przebiegach wolnozmiennych. Miernik okresu też możemy wykonać w sposób klasyczny lub według zasady analogicznej do omówionej wyżej. Można też obie funkcje zaimplementować w jednym przyrządzie.

Na fot. 5 przedstawiono „sprawcę” przedstawionego pomysłu: 20-amperowy zasilacz produkowany w latach 70. i 80. przez jeden z warszawskich zakładów – Inco.

W pewnym momencie zabrakło wskaźników wychyłowych, trzeba więc było zrobić amperomierz cyfrowy. W owych czasach nie można było myśleć o ICL7106 lub podobnych, trzeba było to zrobić „na piechotę”: bocznik, przetwornik U/f , częstotliwościomierz. I stąd to, co powyżej.

Jacek Jakimowicz