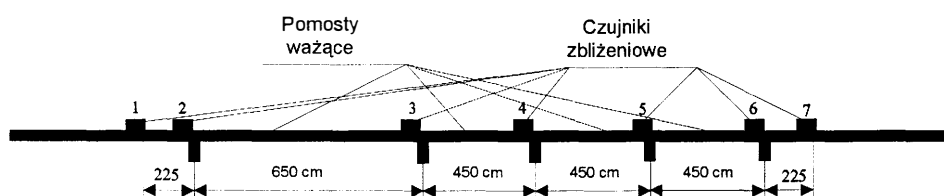


Elektroniczne układy pomiaru i przetwarzania sygnałów w dynamicznej wadze kolejowej

Statyczno-dynamiczne wagi kolejowe są dziś produkowane przez wiele firm (nie tylko z rynku krajowego). Waga taka składa się z dwóch zasadniczych części: mechanicznej [2] i elektronicznej. Artykuł ma na celu przybliżyć czytelnikowi problemy, z jakimi spotyka się projektant wagi kolejowej przy wyborze i realizacji struktury części elektronicznej, która jest odpowiedzialna za wyznaczenie masy przejeżdżającego pociągu. Przedstawiona też jest budowa konkretnych realizacji takich systemów. W związku z tym, że istnieje wielka różnorodność statyczno-dynamicznych wag kolejowych, w opracowaniu niniejszym ograniczono się do przedstawienia tylko przykładowych systemów elektronicznych.

1. Wprowadzenie

Przeprowadzone rozważania zostaną wykonane na przykładzie statyczno-dynamicznej wagi kolejowej cztero-pomostowej, której schemat przedstawiony jest na rys. 1. Waga taka zamontowana jest w Gdyni.



Rys. 1. Schemat i długości pomostów statyczno-dynamicznej wagi kolejowej.

Jak widać (rys. 1) jest to waga złożona z trzech pomostów o długości 4.5m. i jednego pomostu 6.5m.[2]. Dodatkowo na wadze umieszczone są (jeżeli są potrzebne) [3] czujniki zbliżeniowe służące do identyfikacji składu pociągu.

W praktyce najczęściej stosowane są następujące systemy pomiarowe (moduł elektroniczny):

- system wieloprocesorowy, w którym występuje kilka mikrokontrolerów, odpowiedzialnych za konkretne zadania i komunikujących się pomiędzy sobą,
- system z nadrzędnym komputerem klasy PC, jest to modyfikacja systemu wieloprocesorowego z tym, że rolę części procesorów przejmuje komputer klasy PC,
- system jednoprocessorowy, w którym występuje jeden procesor o dużej możliwości obliczeniowej wraz z odpowiednim otoczeniem.

Częścią wspólną tych systemów jest to, iż wszystkie one są podłączone do komputera, w którym gromadzone są dane ze wszystkich ważeń w postaci bazy danych. W dalszej części rozważań zostaną opisane kolejno wymienione wyżej sy-

stemy. Wybór rodzaju modułu elektronicznego nie jest prosty, gdyż na jego kształt i zawartość mogą mieć wpływ różne czynniki np. takie jak:

- ilość i długość pomostów pomiarowych,
- rodzaj czujników tensometrycznych,
- rodzaj czujników zbliżeniowych (czy w ogóle są stosowane),
- tryby pracy (statyczny, dynamiczny, statyczno-dynamiczny),
- odległość miejsca, w którym umieszczona jest waga od elektroniki.

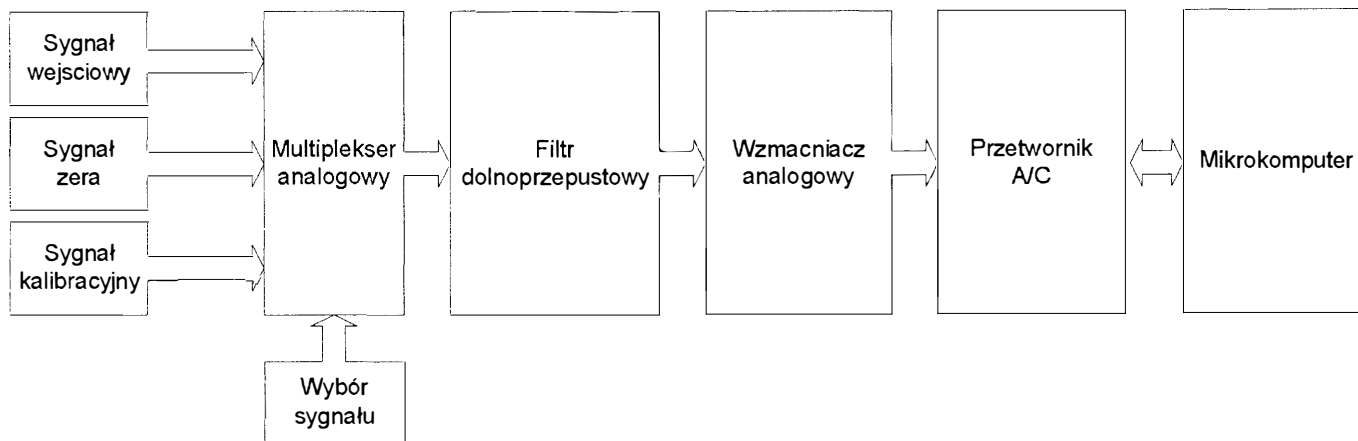
Głównymi problemami z jakim musi się uporać konstruktor części elektronicznej są:

- zbudowanie toru pomiarowego niewrażliwego na różnego rodzaju zakłócenia,
- ustalenie sposobu identyfikacji składu pociągu (czy stosuje się czujniki zbliżenia, czy nie a jeżeli tak to ile),
- ustalenie, które z elementów systemu są na tyle ważne, że muszą dokonywać okresowego sprawdzania własnej poprawności działania (autodiagnostyka systemu),
- wybór struktury systemu.

2. Pomiar sygnału z jednego pomostu ważącego

W skład toru pomiarowego (tor analogowy) muszą wchodzić następujące elementy:

- czujnik tensometryczny,
- filtr analogowy,
- wzmacniacz pomiarowy,
- przetwornik A/C.



Rys. 2. Schemat blokowy toru analogowego.

Dodatkowo układ powinien być wyposażony w mechanizm kompensacji temperaturowych zmian parametrów poszczególnych elementów toru analogowego. Sygnał wejściowy jest to sygnał z czujników tensometrycznych, połączonych równolegle. Zazwyczaj stosowane są czujniki o czułości $1 \div 3 \text{ mV/V}$. Czujnik powinien być zasilany takim napięciem, aby zmniejszyć stosunek szumu do sygnału użytecznego. Jak można zauważyć (rys. 2) układ ten jest wyposażony w tor kalibracji temperaturowej. Polega ona na tym, iż w określonych odcinkach czasu (np. co 5 min) mikrokomputer przełącza na swoje wejście (poprzez multiplexer analogowy) najpierw sygnał kalibracyjny, a potem sygnał zera. Sygnały te charakteryzują się bardzo małymi zmianami swoich parametrów (napięcia) pod wpływem zmian temperatury. Po odczycie tych sygnałów mikrokontroler koryguje charakterystykę (wzmocnienie i przesunięcie zera) toru analogowego.

Ważnym elementem tego toru jest wzmacniacz sygnałowy. Musi on być tak dobrany, aby jego charakterystyka była maksymalnie liniową, a jego wzmocnienie wykorzystywało cały zakres pomiarowy przetwornika A/C (przy danym sygnale z czujnika tensometrycznego). Przetwornik A/C pełni także ważną funkcję. Żeby zapewnić żadaną dokładność wskazań musi on dawać słowo pomiarowe o odpowiedniej długości (najczęściej wykorzystuje się przetworniki 16-bitowe). Innym z parametrów głównych przetwornika jest częstotliwość próbkowania. Nie może ona być za mała, gdyż w oknie pomiarowym [3] znajdzie się zbyt mała liczba próbek, a co za tym idzie wystąpi duży błąd pomiarowy, oraz zbyt duża, gdyż tylko zwiększy się ilość obliczeń a nie dokładność pomiaru. Częstotliwość próbkowania powinna się zawierać w granicach od kilkunastu Hz do kilkunastu kHz.

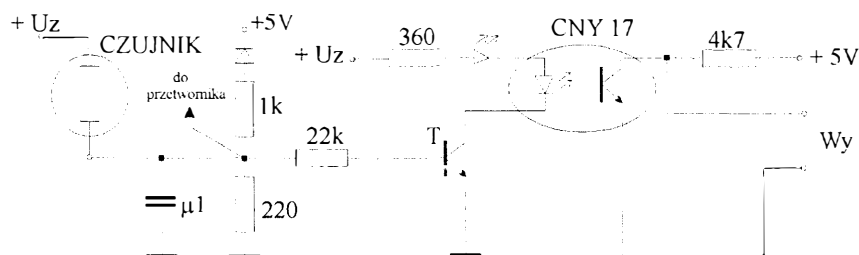
3. Czujniki zbliżeniowe

Czujniki zbliżeniowe służą do:

- określenia położenia i prędkości pociągu na wadze [3],
- identyfikacji składu pociągu wjeżdżającego na wagę [3].

Stosowane są w systemach, gdzie moc obliczeniowa jest zbyt mała, aby możliwe było dokonanie identyfikacji i pomiaru masy przez jeden procesor na podstawie tylko sygnałów z czujników masy. Jeżeli dysponuje się szybkim procesorem, to możliwe jest wyznaczenie położenia wagonu na wadze na podstawie sygnałów skoków masy. Jednak taki algorytm jest bardzo skomplikowany i jedynie procesory o możliwościach obliczeniowych porównywalnych z PC-tami mogą podołać tym zadaniom. Dlatego podstawowym systemem, w którym stosowanie czujników zbliżeniowych nie jest konieczne, jest system jednoprocessorowy z procesorem sygnałowym.

W systemach, w których czujniki zbliżeniowe zostaną zastosowane, sygnały z tych czujników (sygnalizują one przejechanie koła wagonu w pobliżu czujnika) należy dostarczyć do układu mającego za zadanie obsługę tych informacji. Czujnik taki zamienia swój stan aktywny, gdy nad jego powierzchnią roboczą znajduje się element metalowy (koło przejeżdżającego pociągu). Czujnik sygnalizuje to poprzez zmianę poboru prądu z zasilacza z 20 mA na 4 mA. W związku z czym sygnał ten (zmianę prądu) należy przetworzyć na sygnał w standardzie takim, jaki akceptuje budowany system (w układach cyfrowych jest to standard TTL; stan niski 0V, a stan wysoki 5V). Jeden z możliwych układów przekodowania zmiany prądu $4 \div 20 \text{ mA}$ na standard TTL pokazany jest na rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu do zamiany sygnału $4 \div 20 \text{ mA}$ na sygnał TTL.

Jak widać, układ ten posiada optoizolację (CNY 17), która zabezpiecza układ mikroprocesorowy przed niepożądanymi, impulsowymi sygnałami, mogącymi uszkodzić system (np. wyładowania atmosferyczne).

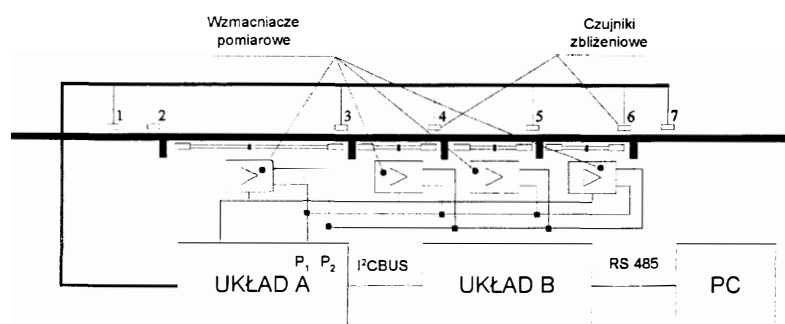
W wagach kolejowych stosuje się kilka rozwiązań, jeżeli chodzi o umiejscowienie i ilość czujników zbliżeniowych [3]. Stosowane są następujące rozwiązania:

- na końcach każdego z pomostów, oraz po jednym przed wjazdem na wagę z obu stron; mamy informację o wjechaniu i zjechaniu koła wagonu z pomostu pomiarowego,
- na jednym końcu pomostu, oraz po jednym przed wjazdem na wagę z obu stron; mamy informację o przejściu koła z jednego pomostu na drugi,
- czujniki tylko przed wjazdem na wagę po obu stronach; mamy informację tylko do identyfikacji, pozostałe informacje należy uzyskać programowo.

4. Rzeczywiste realizacje

a). Waga wieloprocessorowa

Schemat przykładowej realizacji wagi wieloprocessorowej pokazano na rys. 4. Jest to układ, w skład którego wchodzi sześć układów mikroprocesorowych i komputer osobisty.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu wieloprocessorowego.

Wzmacniacze pomiarowe stanowią cztery z sześciu układów mikroprocesorowych. Natomiast dwa pozostałe układy służą do realizacji algorytmów identyfikacji i estymacji masy (układ A) [3] oraz do gromadzenia danych, wyświetlania sumy masy na wszystkich pomostach i przekazywania potrzebnych informacji do komputera klasy PC (układ B).

Każdy pomost pomiarowy podparty jest na czterech czujnikach tensometrycznych połączonych równolegle, z których sygnały obsługuje przypisany do danego pomostu wzmacniacz pomiarowy (w systemie na rys. 4 są cztery wzmacniacze pomiarowe, gdyż posiada on cztery pomosty). Wzmacniacze są układami mikroprocesorowymi, niezależnymi, komunikującymi się z układem sterującym (układ A), w skład których wchodzi następujące elementy:

- wyświetlacz sześć-pozycyjny, złożony ze wskaźników siedmiosegmentowych,
- klawiatura numeryczna z dodatkowymi klawiszami funkcyjnymi,
- złącze RS485.

Wszystkie wzmacniacze posiadają dwa tryby pracy: statyczny (w czasie bez ruchu wagon umieszczany jest na wadze i odczytywane są wskazania z odpowiednich pomostów), oraz dynamiczny (w czasie przejazdu ważonego pociągu przez wagę). Każdy posiada własny tor przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy z możliwością kompensacji temperaturowej. W określonych odstępach czasu, zwanych okresem próbkowania, mikrokontroler odczytuje wartości z przetwornika A/C. Po wyskalowaniu odczytu, wartość masy jaka znajduje się na danym pomoście jest wyświetlana na wskaźniku sześciopozycyjnym (jedynie w trybie statycznym; w trybie dynamicznym nie ma to sensu, gdyż wartości wskazań zmieniają się bardzo szybko). W trybie statycznym okres próbkowania przetwornika może być zdecydowanie mniejszy, niż w trybie dynamicznym. W trybie dynamicznym dany wagon znajduje się stosunkowo krótko na platformach pomiarowych i chcąc uzyskać jak najwięcej informacji o masie wagonu trzeba zwiększyć częstotliwość próbkowania. W tryb ważenia dynamicznego wzmacniacz przełączany jest za pomocą jednej z linii P₁, P₂. Druga z tych linii wprowadza układ pomiarowy w stan gromadzenia informacji (otwiera okno pomiarowe)[3]. Tak długo, jak ta linia jest ustawiona, wzmacniacz sumuje wszystkie odczyty z przetwornika A/C.

Po wyłączeniu tej linii wzmacniacz uśrednia odczytane dane i dokonuje skalowania.

Każdy ze wzmacniaczy posiada szereg funkcji dodatkowych, które są dostępne za pośrednictwem klawiatury. Wśród tych funkcji można wyróżnić:

- kalibrację zera wzmacniacza,
- kalibrację wzmocnienia wzmacniacza,
- zmianę adresu identyfikacyjnego,
- włączanie i wyłączanie dodatkowych funkcji np. automatycznego zera lub śledzenia zera, itp. przy czym funkcje te nie są dostępne bezpośrednio, lecz dopiero po wpisaniu odpowiedniego hasła.

Układ A ma następujące zadania:

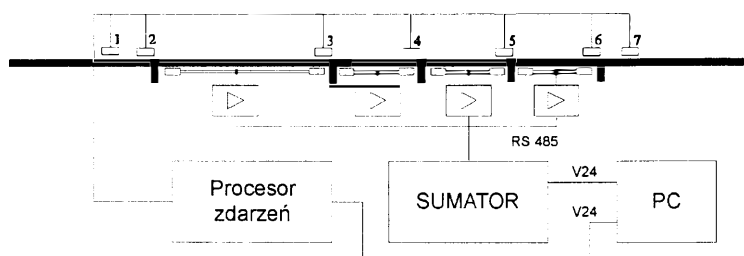
- obsługę czujników zbliżeniowych,
- dokonanie identyfikacji składu pociągu (wyznacza odległości między poszczególnymi osiami wagonu),
- wyznaczenie prędkości i przyspieszenia poszczególnych osi wagonów,
- wyznaczenie momentu otwarcia i zamknięcia okna pomiarowego,
- przełączanie wzmacniaczy pomiędzy stanem statycznym i dynamicznym,
- odczytywanie masy ze wzmacniaczy (w obu trybach),
- przesłanie informacji do układu B.

Układ A komunikuje się ze wzmacniaczami pomiarowymi po magistrali RS485. Każdy ze wzmacniaczy posiada unikatowy adres, za pomocą którego jest identyfikowany. Po zgromadzeniu wszystkich danych układ A przesyła je do układu B po magistrali I2CBUS. Tam są one analizowane i otrzymywana jest informacja o masie wagonu, jego prędkości i przyspieszeniu.

Komputer PC wyposażony jest w program obsługi wagi, przy pomocy którego można nią sterować (przełączać pomiędzy trybami, wyzerować wagę, itp.). Program połączony jest z bazą danych, w której są zapamiętane wszystkie ważenia jakie zostały dokonane na wadze. Program posiada identyczne funkcje jak standardowe bazy danych, łącznie z tworzeniem różnego rodzaju raportów i bilansów wraz z możliwością ich wydrukowania.

b). System z nadrzędnym komputerem

System tego rodzaju pokazany jest na rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy systemu z nadrzędnym komputerem.

Podobnie jak w systemie wieloprocesorowym, liczba wzmacniaczy jest równa liczbie pomostów pomiarowych. Wzmacniacze pomiarowe są bardzo podobne do układu z punktu a) (jeżeli chodzi o budowę wewnętrzną). Różnica polega na tym, że w tym przypadku nie ma linii przełączających wzmacniacz w tryb dynamiczny, oraz linii startu okna pomiarowego. W systemie tym nie ma układów A i B (rys. 4). Ich rola została powierzona komputerowi osobistemu klasy PC. Pomiędzy wzmacniaczami a PC-tem występuje jeszcze jeden element, który jest nazwany sumatorem. Jego rola jest stosunkowo prosta. Odbiera on po kolei dane ze wzmacniaczy z częstotliwością okresu próbkowania (w trybie statycznym mniejszą, a w trybie dynamicznym zdecydowanie większą), kompletuje paczki informacji (paczka jest to struktura czterech mas po jednej z każdego pomostu) i przesyła je do PC-ta. Komputer ma więc do dyspozycji wszystkie próbki, jakie były odczytane ze wzmacniaczy. Dodatkowo w trybie statycznym sumator sumuje masę z wybranych pomostów pomiarowych i wyświetla sumę na wyświetlaczu. Sumator przesyła paczki z masami do PC-ta po magistrali V24 (jest to RS232 z pętlą prądową).

Zupełnie nowym układem w porównaniu do systemu z punktu a) jest człon o nazwie „procesor zdarzeń”. Ma on za zadanie pełną obsługę czujników zbliżeniowych, łącznie z ich diagnostyką. Sygnały z tych czujników po przetworzeniu na standard TTL (np. w układzie z rys. 3) są odczytywane w tym członie przez mikroprocesor. Mikroprocesor sprawdza dodatkowo czy jest to rzeczywiście sygnał nadjeżdżającego koła pociągu, poprzez odczekanie określonego odcinka czasu i ponowne sprawdzenie, czy czujnik jest jeszcze pobudzony. Dodatkowo kontrolowany jest czas pobudzenia i wyłączenia każdego czujnika. Jeżeli dany czujnik jest pobudzony przez okres dłuższy niż założony, mierzony jest prąd jaki on pobiera i jeżeli prąd jest za duży, to sygnalizowane jest zwarcie

czujnika, natomiast w przypadku gdy prąd ten jest zgodny z wartością, jaką pobiera czujnik pobudzony, to sygnalizowana jest awaria (która mówi o tym, że jakiś metalowy element znajduje się w obszarze roboczym czujnika). Podobnie postępuje się przy nie pobudzonym czujniku.

Procesor zdarzeń przesyła informacje (paczki informacji) do PC-ta po każdym zadziałaniu któregoś z czujników z zaznaczeniem, który czujnik zadziałał, wraz z czasem jaki upłynął od zadziałania pierwszego czujnika w trakcie danego pomiaru dynamicznego, oraz bajt statusu informującego, czy wszystkie czujniki działają poprawnie. Podobnie jak poprzednio komputer komunikuje się z tym układem po magistrali V24.

Komputer klasy PC dysponuje więc wszystkimi danymi, jakie są potrzebne do wyznaczania masy poszczególnych wagonów ważonego pociągu. W związku z tym jest on w pełni odpowiedzialny za całą obróbkę danych. Zazwyczaj wyznaczenia masy wagonu dokonuje się dwuetapowo:

Etap I polega na wyznaczeniu masy poszczególnych wagonów w trakcie przejazdu pociągu (na bieżąco), tuż po otrzymaniu wszystkich danych od sumatora i procesora zdarzeń, jakie są potrzebne do wyznaczenia masy;

Etap II polega na dokładnym (w granicach użytych algorytmów) wyznaczeniu masy wagonu. Jest to dokonywane po przejechaniu całego pociągu przez wagę (estymacja masy „po fakcie”). Na podstawie wszystkich zgromadzonych informacji komputer raz jeszcze oblicza masy poszczególnych wagonów z tym, że użyte do tego celu algorytmy są zdecydowanie bardziej złożone niż w etapie pierwszym. Algorytmy te wykorzystują wszystkie możliwe okna pomiarowe.

Dodatkową zaletą tego systemu jest fakt, iż posiadając wszystkie informacje potrzebne do wyznaczania masy wagonu można tego dokonać w dowolnej chwili i wyniki zweryfikować np. z wagą statyczną. Ma to ogromne znaczenie w przypadku sprawdzania poprawności działania całego systemu.

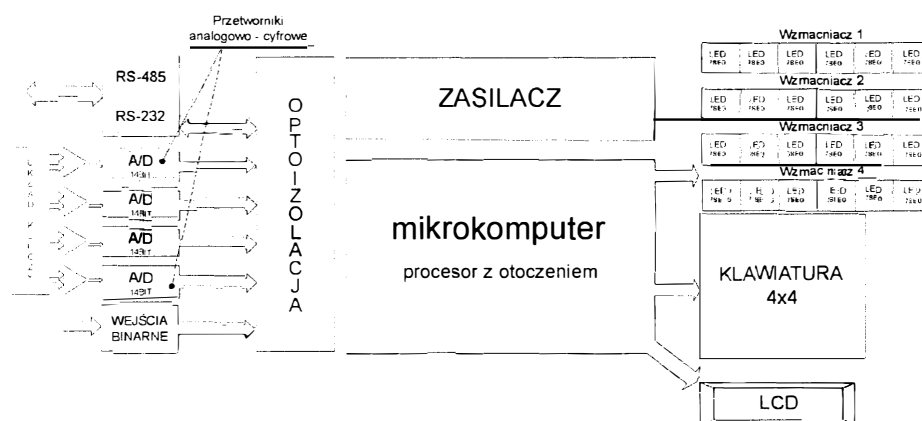
c). System jednoprosesorowy

System ten w porównaniu z dwoma poprzednimi zawiera tylko jeden procesor. W poprzednich systemach każdy z procesorów miał określone zadanie. W tym systemie wszystkie zadania są wykonywane przez jeden układ, w związku z czym musi on posiadać dużo większe możliwości obliczeniowe od użytych w systemach przedstawionych powyżej. Przykładowy schemat blokowy systemu jednoprosesorowego pokazuje rys. 6.

Sam (pojedynczy) procesor pełni w tym systemie następujące funkcje:

- pomiar sygnałów z pomostów pomiarowych,
- obsługa czujników zbliżeniowych (jeżeli są zainstalowane),
- obsługa wyświetlaczy LED, na których jest wyświetlana masa z poszczególnych pomostów, jak również suma tych odczytów,

- obsługa klawiatury,
- obsługa wyświetlacza LCD,
- komunikacja z komputerem klasy PC.



Rys. 6. Schemat systemu jednoprocessorowego.

Wybór procesora, którego moce obliczeniowe wystarcząłyby na taką ilość zadań, może przysporzyć nam bardzo dużo problemów. Jeżeli dodatkowo założymy, że przetworniki A/C będą próbkowane z częstotliwością kilku kHz, oraz że wyznaczenie masy poszczególnych wagonów wykonywane będzie na bieżąco, to od razu wiadomo, że musi to być procesor bardzo szybki. Jednym z możliwych rozwiązań jest zastosowanie procesora sygnałowego. Obecnie na rynku polskim jest coraz więcej firm oferujących w swoich katalogach tego typu procesory, w związku z czym w ostatnim czasie ich cena znacznie uległa zmniejszeniu.

Procesory sygnałowe są bardzo szybkimi układami. Wiele skomplikowanych operacji takich jak np. mnożenie, wykonywane są w nich sprzętowo (w trakcie jednego cyklu rozkazowego). Dzięki tym procesorom możemy w systemach, w których są one elementem głównym, implementować bardzo skomplikowane algorytmy numeryczne, które potrzebują wykonania bardzo dużej ilości działań arytmetycznych. Procesor taki, mając do dyspozycji wszystkie dane, jakie są potrzebne do wyznaczania masy wagonu (położenie i próbki masy), może wyznaczyć na bieżąco masę poszczególnych wagonów. Z uwagi na i tak duże obciążenie procesora (odczytywanie czterech przetworników A/C z dużą częstotliwością) proponuje się, aby algorytm do wyznaczania masy wagonu, gdy ten jeszcze znajduje się na wadze, był nieskomplikowany (np. wykorzystywał tylko jedno, największe okno pomiarowe), jednocześnie zapamiętując wszystkie informacje. W chwili, gdy pociąg zjedzie już z wagi, można przy użyciu nowoczesnych metod filtracji ponownie wyznaczyć masę wagonu. Wyznaczenia masy „po fakcie”, czyli po zakończeniu przejazdu pociągu, można dokonać tylko w takim systemie, w którym jest do dyspozycji odpowiednia ilość pamięci RAM, w której można by zgromadzić wszystkie dane dotyczące przejazdu całego składu. Jak można zauważyć, system ten jest podobny (pod względem sposobu wyznaczania masy wagonu) do systemu z punktu b). Jednak w tym przypadku można pozwolić sobie na dużo większą

częstotliwość próbkowania. W systemie z punktu b) ograniczenie okresu próbkowania wynika jednoznacznie z prędkości transmisji, z jaką można przesłać (na dość znaczne odległości) dane z układu sumatora do komputera nadrzędnego.

Dodatkowo trzeba się zastanowić nad celowością stosowania czujników zbliżeniowych. Przy tak dużej możliwości obliczeniowej, jaką dysponuje procesor sygnałowy, bardzo wskazane byłoby wykrywanie położenia, prędkości i przyspieszeń pociągu na podstawie analizy zmiany sygnałów z czujników masy (analizować przyrost/spadek masy, co sugeruje wjechanie/zjechanie osi z platformy pomiarowej). Jak można się domyślać, algorytm będzie niezmiernie złożony, lecz zastosowanie go spowodowałoby zmniejszenie kosztów budowy wagi (o koszt czujników zbliżeniowych), oraz uczyniłoby system mniej awaryjnym (nie mamy dodatkowych elementów mocowanych na wadze).

Budowa systemu jest stosunkowo prosta i zwarta. System ten posiada cztery (liczba zależy od ilości pomostów pomiarowych) niezależne tory analogowe z możliwością kompensacji temperaturowej. Wszystkie przetworniki posiadają izolację optyczną co zabezpiecza procesor wraz z otoczeniem przed niepożądanymi sygnałami, które mogłyby uszkodzić system, takimi jak np. wyładowania atmosferyczne. Jeżeli w systemie są zastosowane czujniki zbliżeniowe, to sygnały z poszczególnych ich ustrojów powinny być także odizolowane od części cyfrowej (np. stosując układ z rys. 3).

System jednoprocessorowy wyposażony jest dodatkowo w blok komunikacji z użytkownikiem. W skład systemu wchodzi kilka wyświetlaczy LED, jeden wyświetlacz LCD oraz klawiatura. Na wyświetlaczach LED wskazywane są w trybie statycznym masy znajdujące się na poszczególnych pomostach pomiarowych. Na jednym z nich wskazywana jest suma tych mas. Na wyświetlaczu LCD, który jest wyświetlaczem alfanumerycznym, pojawiają się komentarze i komunikaty, które informują o stanie pracy całej wagi. W trybie dynamicznym możliwe jest obserwowanie na bieżąco masy, prędkości i przyspieszenia aktualnie przejeżdżających przez wagę wagonów. Po zakończeniu przejazdu pociągu można z poziomu tego systemu wydrukować wstępny raport, na którym umieszczone są najważniejsze informacje o ważeniu.

Jeszcze jednym zadaniem, jakie wykonuje system jednoprocessorowy jest przekazywanie danych do komputera nadrzędnego, w którym wyniki są wizualizowane na monitorze i przechowywane na dysku twardym. Na tym komputerze, podobnie jak w poprzednich rozwiązaniach, zainstalowano specjalizowany program obsługi. W programie tym możliwe jest wykonywanie wszystkich operacji, jakie są dostępne w standardowych programach do obsługi bazy danych.

5. Podsumowanie

Budowa systemu ważącego wagony w ruchu jest widać problemem bardzo złożonym. Istnieje jednak wiele różnych metod pozwalających na zbudowanie takiego systemu, który spełniłby oczekiwania użytkownika. Każdy z wymienionych powyżej systemów posiada swoje wady i zalety. Wybór konkretnego rozwiązania jest ściśle związany z potrzebami użytkownika i powinien być poprzedzony głęboką analizą. Przedstawione powyżej przykłady rozwiązań powinny, zdaniem autorów, spełnić wszystkie wymagania stawiane tego typu instalacjom.

Literatura:

[1] Mazurek S., Stawecki W.: *Dynamiczne ważenie pojazdów szynowych. Podstawowe problemy metrologiczne i techniczne*. *Pojazdy Szynowe* nr 1/1998.

[2] Durzyński Z.: *Dobór długości i liczby pomostów w kolejowej wadze typu dynamicznego*. *Pojazdy Szynowe* nr 1/1998.

[3] Mazurek S.: *Metody ważenia wagonów na dynamicznej wadze kolejowej typu pomostowego*. *Pojazdy Szynowe* nr 2/1998.

[4] *Katalog Techniczny firmy „Schenck” Waegen. Foerdern. Pruefen.*

[5] *Katalog Techniczny firmy „PIVOTEX”.*

[6] Zajecki E.: *Wagi do kontroli obciążeń i nacisku kół pojazdów szynowych w ruchu*. *Technika Transportu Szynowego* Nr 8-9, 1995

[7] *Opis techniczny statyczno-dynamicznej wagi kolejowej typu WKELD 120 firmy TOM Sp. z o.o. Szczecin ul. Lipowa 16.*