

### M103. Spadkownica Atwooda – badanie ruchu jednostajnie zmiennego.

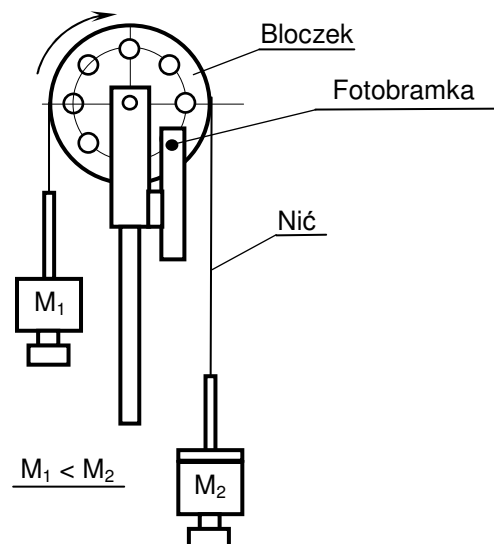
**Cel:** Pomiar chwilowych wartości położenia, prędkości i przyspieszenia w ruchu jednostajnie zmiennym na przykładzie układu pary ciężarków zawieszonych na bloczku. Sprawdzenie II zasady dynamiki. Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego  $g$ .

#### Zagadnienia:

1. Ruch jednostajnie zmienny (droga, prędkość, przyspieszenie w funkcji czasu).
2. Druga zasada dynamiki Newtona.
3. Moment siły, prędkość kątowa, przyspieszenie kątowe, moment bezwładności.

#### Wprowadzenie

Spadkownica Atwooda jest przyrządem, który wykorzystuje się w celu weryfikacji praw rządzących [ruchem jednostajnie przyspieszonym](#). Zbudowana jest z [bloczka](#), na którym poprzez nić zawieszono są dwa obciążniki o zmiennej masie. W ilościowym badaniu praw dynamiki Newtona największą przeszkodą jest tarcie. Spadkownica jest układem, w którym wpływ tarcia jest zminimalizowany – sprowadza się głównie do oporów tocznych łożyska bloczka (rysunek).



Opis układu wymaga wskazania wszystkich sił i momentów sił oraz zapisania odpowiednich równań ruchu dla obu mas oraz bloczka. Zakładamy, że nić jest nieważka i nierozciągliwa. Przebywane drogi oraz wartości prędkości i przyspieszeń są zatem dla obydwu ciężarków jednakowe. Na każdy z ciężarków działają dwie przeciwnie skierowane siły: siła ciężkości,  $gM$ , oraz siła naciągu nici,  $N$ . Ponieważ wszystkie siły działają w tym samym kierunku, wystarczy rozpatrzyć zagadnienie tylko w pionie. Przyjmijmy, że przyspieszenie ciężarka poruszającego się „w dół” będzie dodatnie, a ciężarka poruszającego się „w górę” ujemne. Ponieważ przyjęliśmy, że  $M_2 > M_1$ , ciężarek „2” będzie opadać. Wypadkowe siły działające na masy  $M_1$  i  $M_2$  wynoszą zatem:

$$\begin{aligned} F_1 &= -aM_1 = gM_1 - N_1 \\ F_2 &= +aM_2 = gM_2 - N_2 \end{aligned} \quad (1)$$

W ruch wprawiany jest również bloczek, którego bezwładność trzeba uwzględnić. Zgodnie z II zasadą dynamiki ruch obrotowy, z przyspieszeniem kątowym  $\varepsilon$ , bloczka o momencie bezwładności  $I$ , wywołany jest działaniem stałego momentu siły  $L$ . Jego źródłem są siły naciągu nici,  $N_1$  i  $N_2$ , przyłożone po obu stronach bloczka w odległości  $r$  od jego osi. Wypadkowy

moment siły jest zatem sumą dwóch momentów  $L_1$  i  $L_2$ . Uwzględnić należy również tarcie toczone na łożysku bloczka będące źródłem momentu siły tarcia  $L_T$  spowalniającego ruch obrotowy. Równanie dla ruchu obrotowego zapisać można jako

$$L = L_2 - L_1 = I\varepsilon + L_T, \quad (2)$$

a zatem

$$N_2 r - N_1 r = I\varepsilon + F_T r. \quad (3)$$

Zakładając brak poślizgu, przyspieszenie kątowe  $\varepsilon = a/r$ , gdzie  $a$  jest przyspieszeniem liniowym ruchu obciążników. Zakładając, że bloczek to walec o masie  $m$ , wówczas jego moment bezwładności wynosi  $I = 1/2 mr^2$ . Uwzględniając równania (1) w równaniu (3) ostatecznie równanie ruchu dla całego układu przybierze postać:

$$(M_2 - M_1)g = (M_1 + M_2)a + \frac{1}{2}ma + F_T, \quad (4)$$

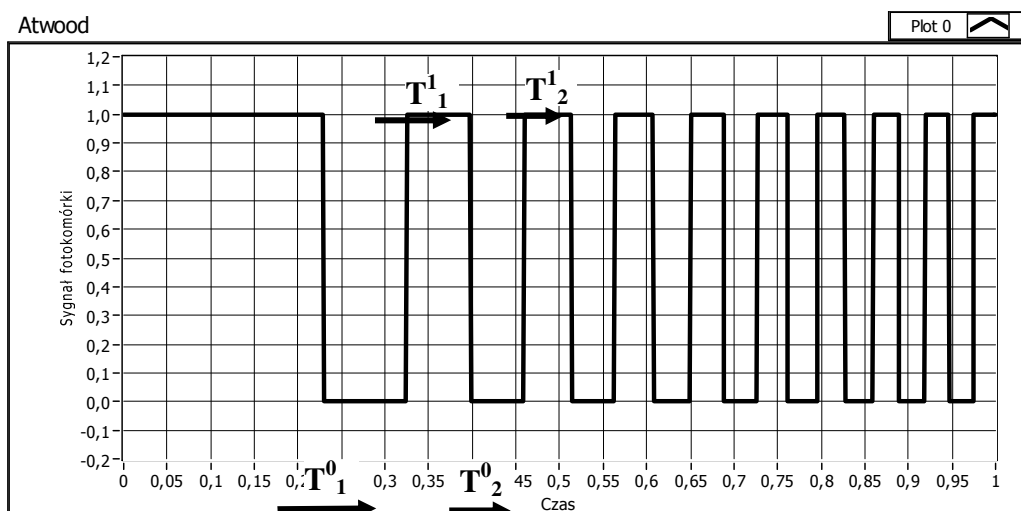
a stąd

$$a = \frac{M_2 - M_1}{M_1 + M_2 + \frac{1}{2}m} g - F_T. \quad (5)$$

Równanie to pomija efekty związane z nieregularnością kształtu bloczka (otwory i zgrubienia). Pomija też fakt istnienia rowka na krawędzi bloczka, który sprawia, że promień we wzorze na moment bezwładności jest różny od tego, który brany jest do obliczenia siły działającej na nić.

Układ pomiarowy skonstruowany jest w taki sposób, że fotokomórka rejestruje światło fotodiody przechodzące przez otwory wykonane w bloczku. Miejsca pomiędzy gwałtownym wzrostem a gwałtownym spadkiem sygnału fotokomórki na wykresie jego zależności czasowej wskazują momenty przejścia otworów nad fotokomórką, natomiast pozostałe fragmenty wykresu wskazują momenty przejścia pełnych fragmentów bloczka. Zakładając, że przyspieszenie nie jest zbyt duże, zmiana prędkości pomiędzy przelotami sąsiednich otworów jest niewielka, co wystarcza do uzyskania dość gładkiej zależności prędkości od czasu, a stąd również drogi od czasu.

### Badanie chwilowych wartości prędkości, przyspieszenia i drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym.



Przykładowy przebieg zmian sygnału fotokomórki.

Powyższy rysunek przedstawia przykładowy przebieg zmian sygnału fotokomórki. Ponieważ rozmiary otworów nie są równe odległościom pomiędzy ich brzegami, należy za „kwant” drogi przyjąć odległość  $d$  pomiędzy początkami (lub środkami) otworów, a więc łączną długość pary strzałek „górnej” i „dolnej”. Odległość otworów od osi obrotu jest mniejsza niż odległość nici od tej osi, więc wygodnie jest rozpatrywać prędkość kątową  $\omega = d\alpha/dt$ , gdzie  $\alpha$  jest chwilowym położeniem kątowym bloczka. Prędkość liniową w dowolnej odległości  $R$  od osi obrotu obliczamy jako iloczyn  $\omega R$ . Stałą odległość  $d$  pomiędzy otworami można zastąpić stałym kątem  $\beta = 2\pi/N$ , gdzie  $N$  jest liczbą otworów. Jeżeli przez  $T_i^1$  oznaczymy czasy przelotu pomiędzy początkami otworów (górne strzałki), a przez  $T_i^0$  oznaczymy czasy przelotu pomiędzy ich końcami (dolne strzałki), to chwilowe prędkości obliczone w  $i$ -tym cyklu będą równe:

$$\omega_i = \frac{\beta}{T_i^1 + T_i^0}, \quad v_i = \omega_i r, \quad (6)$$

gdzie  $v_i$  jest prędkością liniową nici. Różnica w długości kolejnych strzałek wynika z tego, że przedstawiają one czas pokonywania tych samych odległości z rosnącą prędkością. Za momenty czasu  $t_i$ , odpowiadające występowaniu tych prędkości można przyjąć połowy sumy długości strzałek  $T_i$ :

$$t_i = t_{i-1} + \frac{1}{2}(T_i^1 + T_i^0), \quad (7)$$

przy czym wstępnie przyjmujemy  $t_0 = 0$ . Z wartości  $v_i$  oraz  $t_i$  można obliczyć chwilowe przyspieszenia  $a_i$  jako wartości odpowiednich ilorazów różnicowych. Ma to jednak sens tylko wtedy, gdy  $t_0$  rzeczywiście równe jest zeru, podczas gdy w konkretnej serii pomiarowej jego wartość jest przypadkowa, zależna od tego po jakim czasie od puszczenia ciężarków w ruch włączymy pomiar. Wartość  $t_0$  można znaleźć poprzez przesuwanie punktów pomiarowych wzdłuż osi czasu (np. suwakiem) tak długo, aż odchylenie standardowe przyspieszeń obliczonych z poszczególnych punktów osiągnie wartość najmniejszą (można zastosować wykres typu Chart). Uśrednienie wszystkich wartości tak obliczonych przyspieszeń pozwoli zwiększyć dokładność wyznaczenia  $a$ .

Alternatywną metodą znalezienia wartości średniej przyspieszenia jest wyznaczenie go z nachylenia zależności  $v(t)$  metodą regresji liniowej („klocek” „Regresja klasyczna” w User Libraries na palecie funkcji). Parametr „ $a$ ” otrzymany z regresji (nachylenie prostej) jest miarą przyspieszenia, a parametr „ $b$ ” regresji liniowej (punkt przecięcia osi Y) pozwoli wyznaczyć rzeczywisty moment rozpoczęcia ruchu w skali czasu przyjętej podczas obliczania  $t_i$ . Przesunięta o tę wartość zależność  $v(t)$  powinna przechodzić przez początek układu.

Wyznaczenie zależności drogi pokonanej przez bloczki od czasu jest znacznie prostsze, bo jest ona równa wielokrotności  $1/N$  obwodu bloczka ( $N$  – liczba otworów w bloczku):

$$s(t_i) = s_0 + i \frac{2\pi r}{N}. \quad (8)$$

Można porównać to z zależnością teoretyczną

$$s(t) = s_0 + \frac{at^2}{2}. \quad (9)$$

Porównanie to można wykonać np. analizując nachylenie zależności  $s(t^2)$  za pomocą „klocka” „Regresja klasyczna”.

Obie zmierzone w ten sposób wartości przyspieszenia  $a$  należy skonfrontować z wartością obliczoną z równania (5) na podstawie zmierzonych (ręcznie) wartości  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $r$  oraz podanej wartości  $m$  i tablicowej  $g$ .

Postępowanie powyższe należy przeprowadzić dla różnych kombinacji ciężarków  $M_1$ ,  $M_2$  w dwóch seriach: jednej ze stałą masą całkowitą  $M_1 + M_2$  i rosnącą różnicą  $\Delta M = M_1 - M_2$ , a

drugą ze stałą różnicą  $\Delta M$  i rosnącą masą całkowitą  $M_1 + M_2$ . Uzyskane stąd zależności obliczonego przyspieszenia  $a(\Delta M)$  i  $a(M_1 + M_2)$  mogą posłużyć do wyznaczenia przyspieszenia ziemskiego  $g$ , znowu przy wykorzystaniu regresji liniowej. Dla drugiej serii należy zlinearyzować problem przez podstawienie  $x = 1/(M_1 + M_2 + m/2)$ .

Żaden ruch nie jest wolny od tarcia. Wobec stosunkowo niewielkich mas ciężarków, moment tarcia na tyle spowalnia ruch bloczka, że konieczne jest uwzględnienie tego zjawiska w obliczaniu wartości przyspieszenia ziemskiego. Najlepiej wstępnie zbadać wartość sił oporu działających na bloczek przy różnym obciążeniu nici. W tym celu należy nakładać na oba wieszaki takie same ciężarki i nadawać im ręką niewielkie prędkości, po czym szybko uruchomić pomiar tak, by zarejestrować moment spadku prędkości. Zmierzone w ten sposób przyspieszenie (ujemne)  $a_T$  stanowi miarę siły tarcia. W pomiarach przyspieszenia ziemskiego  $g$  we wzorze (5) należy wtedy zastąpić  $a$  przez  $a + |a_T|$ . Ponieważ siła tarcia  $F_T$  rośnie z obciążeniem bloczka, a jednocześnie jest niezerowa przy braku obciążenia ( $F_0$ ), niejako przy okazji można zbadać charakter tej zależności.

Zakładając

$$F_T = F_0 + k M \quad (10)$$

oraz pisząc

$$F_T = a_T M, \quad (11)$$

mamy

$$a_T = 1/M F_0 + k, \quad (12)$$

gdzie  $k$  jest współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy całkowitą masą  $M$  obciążającą bloczek a siłą tarcia. Mierząc  $a_T$  dla kilku do kilkunastu wartości  $M$  powinniśmy otrzymać liniową zależność  $a_T(1/M)$ .

Przyrząd pomiarowy zastosowany w tym ćwiczeniu zawiera w sobie programowany mikroprocesor, zdolny do wykonywania złożonych działań z wykorzystaniem przetworników analogowo-cyfrowych, wejść i wyjść cyfrowych oraz liczników. Komunikację z komputerem zapewnia łączy szeregowy, a listę rozkazów mikroprocesora oraz parametry transmisji podano w Dodatku. Tryb pracy przyrządu wykorzystywany w tym ćwiczeniu to złożony program mikroprocesora, w którym mierzy on czasy zadanej liczby kolejno następujących po sobie stanów wysokich i niskich fotobramki, przy czym przyrząd czeka dopóki nie zajdzie zadana liczba zmian stanu. W tej wersji ćwiczenia student ma do dyspozycji gotowy program wykonujący automatycznie całą procedurę od ustawienia parametrów pracy urządzenia do zebrania danych i wstępnej ich analizy.

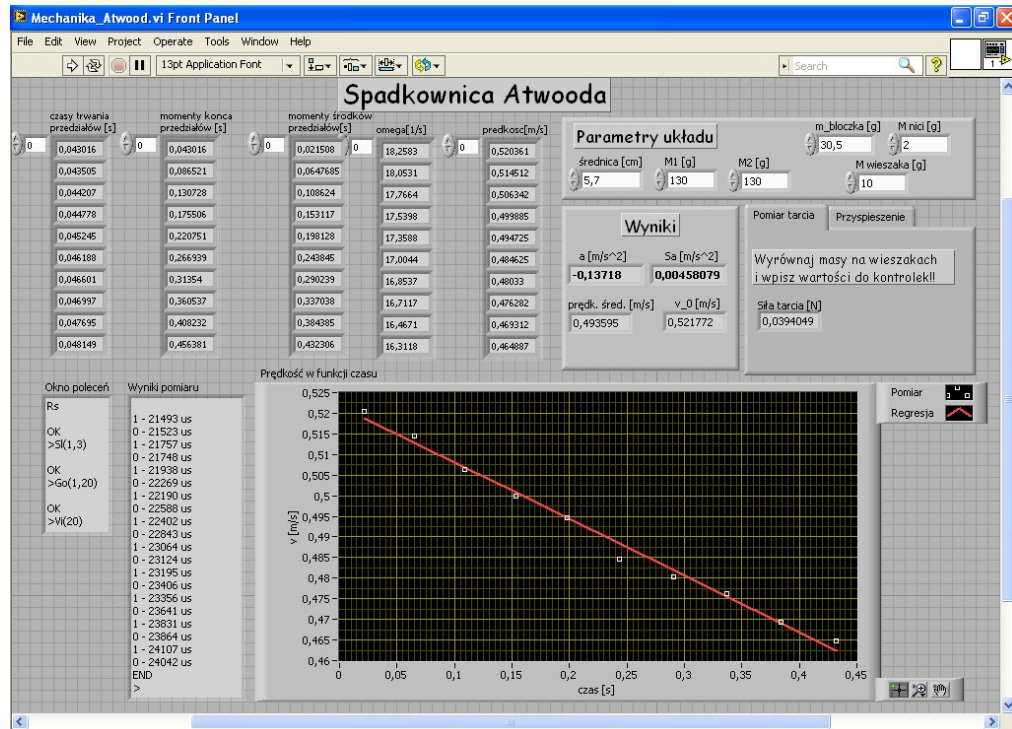
*Zadania do wykonania:*

1. *Zmierz średnicę bloczka. Wrywkowo sprawdź masę kilku ciężarków czy jest zgodna z nominalną. Masę bloczka, wieszaków oraz nici przyjmij taką jak w odpowiednich okienkach programu.*
2. *Zmodyfikuj równania (3-5) tak, by uwzględnić istnienie rowka na krawędzi bloczka. Zmierz jego głębokość i oszacuj różnicę pomiędzy wartościami przyspieszenia a obliczonymi z pierwotnego i zmodyfikowanego równania (5).*
3. *Dysponując gotowym programem do wyznaczenia chwilowych wartości prędkości ( $v$ ) i przyspieszenia ( $a$ ), oraz siły tarcia ( $T$ ) zbadaj zależność siły tarcia od całkowitej masy ciężarków i prędkości ich ruchu. Pomiarów te wykonaj wieszając równe masy ciężarków na obu wieszakach.*
4. *Wykonaj kilka pomiarów przyspieszenia wypełniając pole „spodziewane Tarcie” wartością odpowiednią do aktualnych warunków. Porównaj obliczone wartości przyspieszenia ziemskiego  $g$  uzyskane bez korekty na tarcie i po korekcie.*
5. *Zakładając, że tarcie nie zależy od prędkości i obciążenia, jego wartość wraz z wartością  $g$  można uzyskać z zależności przyspieszenia od łącznej masy ciężarków lub siły przyspieszającej. Zbadaj zależność przyspieszenia od:*
  - a. *łącznej masy ciężarków przy stałej różnicy mas*
  - b. *różnicy mas przy stałej masie całkowitej.*

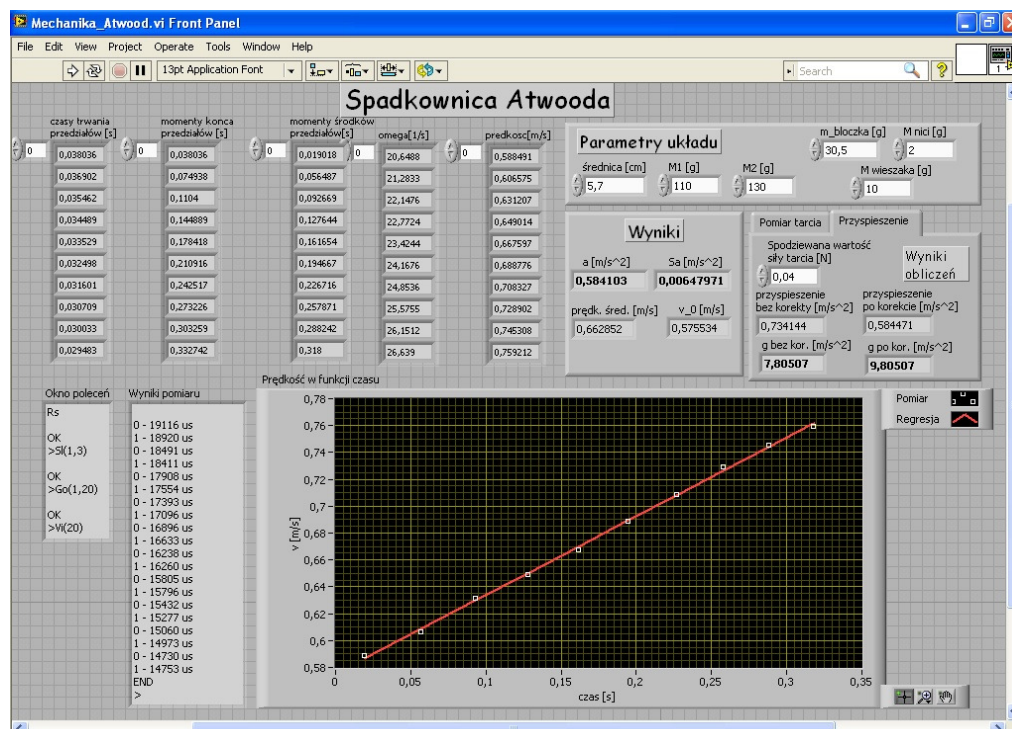
6. Korzystając z równania (5) oblicz ze współczynników regresji wartość siły tarcia i przyspieszenia ziemskiego dla obu serii. Porównaj wyniki z tymi otrzymanymi w punkcie 3.

## Literatura

1. David Halliday, Robert Resnick i Jearl Walker “Podstawy fizyki” Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2003



Wygląd interfejsu programu pomiarowego: pomiar siły tarcia.



Wygląd interfejsu programu pomiarowego – pomiar przyspieszenia.

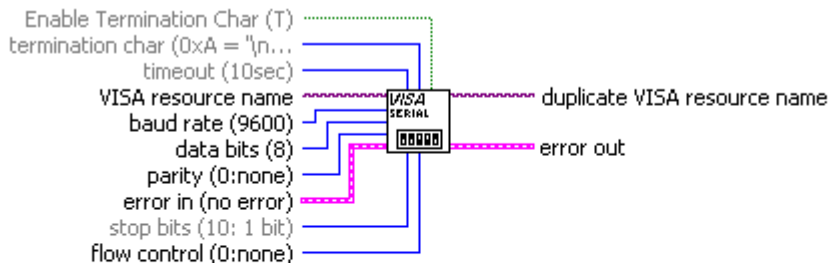
**Zasady przygotowania raportu**

1. Opisz krótko badane zjawisko, problem, podając niezbędne równania.
2. Podaj cele ćwiczenia.
3. W punktach pokaż realizację poszczególnych elementów ćwiczenia. W przypadku programu pokaż jego panel frontowy i diagram blokowy (lub chociaż najważniejszą jego część) oraz omów krótko najistotniejsze punkty programu wraz z ewentualnymi trudnościami napotkanymi w ich realizacji.
4. Wyniki pomiarów przedstawiaj w sposób umożliwiający ich łatwą ocenę:
  - a. pojedyncze wyniki w postaci wyróżnionych liczb (pogrubienie, większy rozmiar czcionki itp),
  - b. serie kilku(nastu) wyników przedstawiaj w postaci tabel lub list. Tam gdzie to wskazane, pokaż je też na wykresie.
  - c. Długie serie pomiarowe obejmujące więcej punktów zawsze prezentuj na wykresach. Osie wykresów opisane, z jednostkami. W przypadku zamieszczania kilku przebiegów na jednym wykresie konieczna jest legenda lub opis pod wykresem.
5. Jeśli to konieczne, przedyskutuj poszczególne wyniki.
6. Napisz krótkie Podsumowanie/Wnioski zawierające streszczenie swoich dokonań (najlepiej w punktach) i ewentualne uwagi na temat ćwiczenia.
7. Struktura raportu
  - a. Raport musi zawierać numer i tytuł ćwiczenia, datę wykonania, datę sporządzenia raportu, nazwisko studenta (pary studentów), nazwisko prowadzącego. Najlepiej w nagłówku. Tabelka nie jest obowiązkowa, choć ułatwia życie. W przypadku programów, elementem raportu są kody programów i pliki z wynikami. W raporcie powinna znaleźć się informacja o nazwie folderu zawierającego te dane.
  - b. poszczególne części raportu powinny być wyraźnie wydzielone. Tytuły części piszemy pismem pogrubionym, części mogą (nie muszą) być ponumerowane.
  - c. Wszystkie wzory powinny być ponumerowane (z prawej strony).
  - d. Wszystkie tabelki powinny mieć swój numer i podpis. Dla tabel podpis zawsze NAD TABELĄ.
  - e. Wszystkie rysunki powinny mieć swój numer i podpis. Dla rysunków numer i podpis zawsze POD RYSUNKIEM. Przez rysunki rozumiemy wszystkie obiekty graficzne (zrzuty ekranów, zdjęcia, wykresy, schematy, itp).
  - f. do równań, tabel, rysunków odwołujemy się poprzez podanie numeru (unikamy takich sformułowań jak „powyższy”, „poniższy”, „na poprzedniej stronie”, „pierwszy”, „ostatni” itp.).

**Uwagi techniczne** (dla ciekawych jak działa program komunikujący się z urządzeniem pomiarowym):

### 1. Komunikacja szeregową w LabView.

Funkcje służące do nawiązania komunikacji szeregowej w LabView można znaleźć na palecie funkcji w grupie „Instrument I/O” w podgrupie „Serial”. Podstawowym „klockiem” jest „VISA Configure Serial Port”, który inicjuje połączenie poprzez port szeregowy.



**VISA Configure Serial Port**

[C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 7.1\vi.lib\Instr\\_visa.lib\VISA Configure Serial Port]

Initializes the serial port specified by **VISA resource name** to the specified settings. You can use this polymorphic VI to initialize a serial port using the Instr VISA class or Serial Instr VISA class. The VISA class specified in the **VISA resource name** determines the polymorphic instance to use.

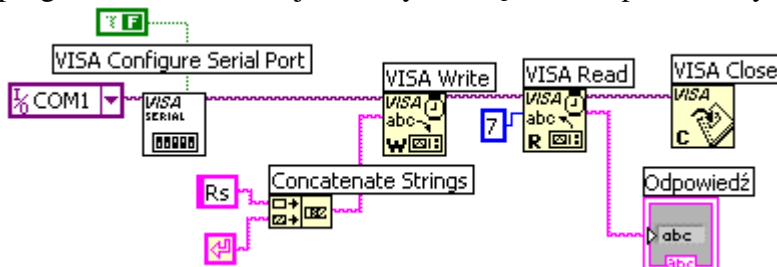
- „VISA resource name” pozwala na wskazanie numeru portu, który posłuży do komunikacji.
- „duplicate VISA resource name” jest używane do podłączania kolejnych narzędzi do komunikacji, które będą wykorzystywać zdefiniowane wcześniej parametry.
- „baud rate” to zadeklarowana prędkość transmisji (bit/s),
- „data bits” ... „flow control” to pozostałe parametry transmisji, które należy ustawić zgodnie ze wskazówkami producenta urządzenia, z którym komunikuje się program.

W naszym przypadku prawidłowo działają wartości domyślne, czyli nie ma potrzeby modyfikowania parametrów transmisji.

- „Termination char” to znak, który przerwie odbieranie danych nawet jeśli są jeszcze znaki w buforze nadawczym. Domyślnie jest nim znak końca linii LF (#10).

- „Enable Termination Char” to opcja, która włącza lub wyłącza mechanizm przerywania transmisji po napotkaniu znaku przerywania.

Komunikacja z użyciem transmisji szeregowej zwyczajowo odbywa się poprzez teksty ASCII. Oznacza to, że liczby przesyłane są w ich zapisie dziesiętnym, a nie w reprezentacji binarnej. Aby odczytać ich wartości należy użyć narzędzi do konwersji tekstu na liczby. Najprostszy program do komunikacji z naszym urządzeniem pomiarowym będzie miał postać:



gdzie „VISA Write” jest narzędziem do wysyłania poleceń do urządzenia, a „VISA Read” narzędziem do odbierania jego odpowiedzi. Ze względu na to, że nasze urządzenie wysyła kod LF w treści swoich komunikatów, w podanym przykładzie wyłączona jest opcja uwzględniania tego znaku jako przerywnika transmisji. Program ten „resetuje” urządzenie poleceniem „Rs” (patrz lista poleceń w Dodatku), a ono odpowiada komunikatem „OK”. Kolejne komendy można

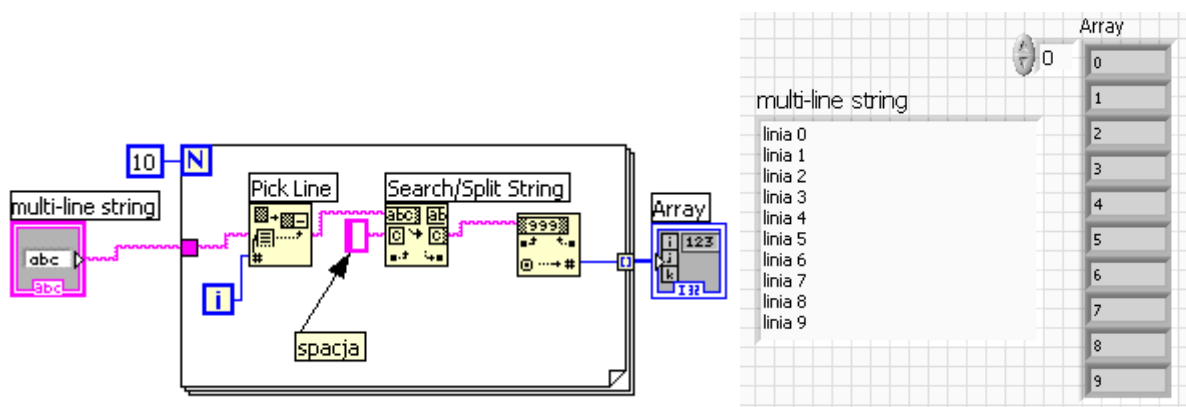
wysyłać za pomocą następujących „klocków” „Visa Write” podłączonych do tego samego „przewodu” z identyfikatorem zadania (na rys. powyżej pomiędzy „Visa Read” a „Visa Close”).

## 2. Operacje na tekście i konwersja tekstu na liczby

Najważniejszym zadaniem realizowanym przez urządzenie pomiarowe będzie dla nas pomiar odstępów czasu pomiędzy momentami narastania sygnału fotokomórki i odstępów pomiędzy momentami zanikania tego sygnału. Ze względu na możliwość współpracy ze zwykłym terminalem odpowiedź przyrządu jest dość skomplikowana: zawiera oprócz samych wyników liczbowych również pewne objaśnienia pozwalające zrozumieć sens tych liczb przy pracy z terminalem. Dlatego po odebraniu pełnej odpowiedzi w postaci  $n$  linii tekstu należy wyłować z tego tekstu poszczególne wartości i utworzyć z nich tablicę. Przy wyborze 10-krotnego pomiaru odpowiedź przyrządu ma postać:

```
1 - 70416 us
0 - 60622 us
1 - 44896 us
0 - 44708 us
1 - 35489 us
0 - 36951 us
1 - 30613 us
0 - 32315 us
1 - 27065 us
0 - 29055 us
1 - 24405 us
0 - 26814 us
1 - 22545 us
0 - 24849 us
1 - 20844 us
0 - 23385 us
1 - 19947 us
0 - 21950 us
1 - 18842 us
0 - 20825 us
END
>
```

Proponujemy najpierw podzielić ten tekst na linie, a następnie z każdej linii „wyciągnąć” szukany fragment i zamienić go na liczbę. Zrealizujemy to zadanie za pomocą programu podobnego do poniższego przykładu:



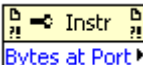
Zastosowano tu funkcję „Pick Line”, która wybiera z wielowierszowego tekstu wskazaną linię, a następnie funkcję „Search/Split String”, która podzieliła wybraną linię na fragment do „spacji” i po „spacji”. Dalej użyta została standardowa funkcja konwersji tekstu na liczbę całkowitą „Decimal String To Number”

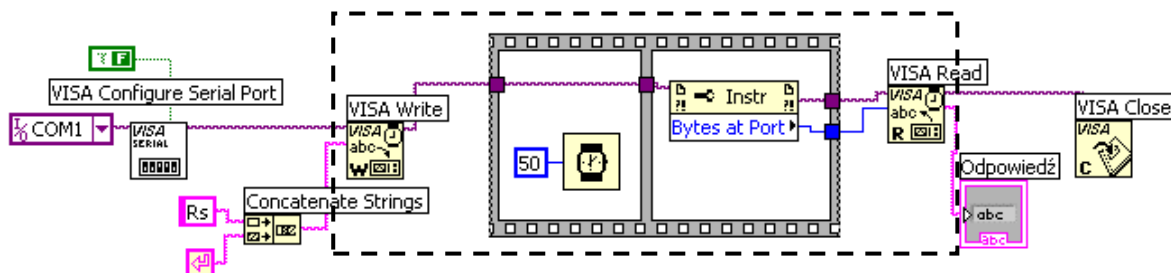


### 3. Kilka dodatkowych informacji o transmisji szeregowej.

W przypadku, gdy nie znamy dokładnie formatu odpowiedzi urządzenia, a tym samym liczby bajtów, które zamierza ono wysłać, należy posłużyć się funkcją „VISA Bytes at Serial

Port”, która na palecie funkcji wygląda tak: , a po położeniu na diagram blokowy

tak: . Przy jej wykorzystaniu należy pamiętać, że podaje prawidłową wartość dopiero po pewnym czasie od wydania polecenia, potrzebnym na przekazanie tej informacji z urządzenia do komputera. Zazwyczaj wystarcza 50 ms, co w naszym przypadku nie ma żadnego znaczenia, bo wyniki są odczytywane już po zakończeniu pomiaru. Tę zwłokę należy wymusić poprzez wprowadzenie sekwencji rozkazów z funkcją „Wait” pośrodku:



Dla zaoszczędzenia miejsca na diagramie blokowym i zwiększenia przejrzystości programu proponujemy utworzyć sub-vi z elementów zaznaczonych ramką na schemacie powyżej.

### 3. Ograniczenie liczby pomiarów.

Przyrząd pomiarowy obsługujący to ćwiczenie ma ograniczenie do wykonania co najwyżej 20 pomiarów typu  $T^1$  i  $T^0$ . Oznacza to możliwość zmierzenia zaledwie 10 wartości chwilowej prędkości. Aby sztucznie rozszerzyć ten zakres, proponujemy wykonać serię pomiarów dla każdego zestawu  $M_1, M_2$ , uruchamiając pomiar w różnych momentach od chwili puszczenia ciężarków. Otrzymane w ten sposób zestawy danych można „skleić” po sprowadzeniu ich do postaci  $v = a t$  (bez prędkości początkowej) i dalszą analizę wykonywać już na takich powiększonych zestawach. Można też analizować każdy z zestawów z osobna, np. w celu sprawdzenia, czy rosnące z prędkością siły oporu nie zmniejszają przyspieszenia.

### 7. Struktura programu.

Nie staraj się od razu pisać uniwersalnego programu, który wszystko zmierzy i obliczy. Raczej bazuj na krótszych programach, które realizują konkretne zadania. O ile analiza konkretnej serii danych  $v_i(t_i)$  powinna być zrealizowana raczej natychmiast po jej zebraniu, o tyle analiza zależności  $a(\Delta M)$  i  $a(\Sigma M)$  może być dokonana w osobnym programie, w którym będą zwyczajne kontrolki tablicowe. Ręczne wpisanie tam obliczanych wartości nikomu nie będzie uwłaczać, choć oczywiście można pomyśleć o tworzeniu pliku z wynikami na dysku i zastąpić kontrolki tablicowe procedurą czytania danych z pliku.

Zacznij od napisania podstawowych procedur komunikacji z urządzeniem pomiarowym (sekwencja „wyślij rozkaz – odbierz odpowiedź”). Łącząc takie sekwencje (najlepiej upakowane w formie sub-vi) w łańcuszki, ustaw tryb pracy urządzenia i wyślij rozkazu („Go(1,n)”). Zwróć uwagę, że polecenie „Go” wstrzymuje komunikację z komputerem i należy uwzględnić w programie fakt, że dane w buforze RS pojawią się dopiero po zmierzeniu zadanej liczby zmian stanu bramki świetlnej. Następnie odczytaj wszystkie wyniki (polecenie („Vi(n)”) i zamień je na liczby, a potem dodaj parami, aby uzyskać łączne czasy wykonania kolejnych 1/8 obrotu bloczka. Zwróć uwagę, że z uwagi na niewielki rozmiar bufora danych stosowanego urządzenia, wynik polecenia „Vi(20)” może być przekazywany w kilku porcjach.



- czeka dając możliwość wykonania określonych czynności manualnych (np. puszczenia wózka na bufor przetwornika siła-napięcie).
- Go(c,n)** — instrukcja powodująca wykonanie n pomiarów z ustalonego kanału; c=1 - wejścia cyfrowe, c=2 — wejścia i wyjścia do dowolnego wykorzystania przez użytkownika, c=3 — wejścia analogowe (Go(3,50) oznacza wykonanie 50 pomiarów napięcia).
- Rd(n)** — czyta stan logiczny (0 lub 1) urządzenia zewnętrznego podłączonego do jednego z czterech wejść uniwersalnych.
- St(i)** — Pozwala ustalić odstęp czasu pomiędzy kolejnymi odczytami napięcia; dozwolonym wartościom parametru i odpowiadają następujące wartości odstępu czasowego:  
 $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6,$   
 $t[\mu s] = 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000,$   
 $i = 7, 8, 9$   
 $t[\mu s] = 20000, 50000, 100000$
- Ta(i)** — Pojedynczy pomiar napięcia z ustalonego wejścia analogowego.
- Tc(i)** — Pojedynczy pomiar czasu z ustalonego wejścia cyfrowego.
- Vi(c)** — Wyświetlenie wartości czasu lub napięcia wykonanych pomiarów (wyświetlonych wartości może być co najwyżej tyle, ile pomiarów zadeklarowano w komendzie Go(c,n)).
- Vr** — Przesłanie aktualnej wersji oprogramowania.
- Wr(n,v)** — Wysłanie do urządzenia zewnętrznego, podłączonego do jednego z czterech wyjść uniwersalnych sygnału '0' lub '1' logicznej w celu zapoczątkowania jakiejś akcji (np. włączenie silnika, zapalenie żarówki itd).
- Sl(c,i)** — Wybranie kanału i wejścia, w którym ma być wykonany pomiar napięcia lub czasu (np. Sl(3,1) wykonać pomiar napięcia na wyjściu urządzenia podłączonego do wejścia analogowego nr.1).
- Sa(i)** — Wykonać pomiary napięcia z 2, 3 lub 4 urządzeń zewnętrznych prawie jednocześnie. Odpowiednia sekwencja wykonania jednocześnie pomiarów dla dwóch urządzeń podłączonych do wejść analogowych 1 i 3 ma postać:  
Rs <CR> <CR> = Enter  
St(i) <CR> i = 0..9  
Sa(1) <CR>  
Sa(3) <CR>  
Go(3,10) <CR>  
Vi(20) <CR>

- będzie wykonanych po 10 pomiarów napięć z wejść 1 i 3 razem 20 pomiarów.
- Sg(i,k) — Wybrać wzmacnienie na dowolnym z wejść analogowych. Jeśli spodziewana wartość napięcia do zmierzenia w wejściu np. Nr.3 jest mniejsza niż 500 mV wybrać wzmacnienie 10 (Sg(3,10)).
- Pr — Pomiar najpierw trzech wartości czasu, a następnie przełączyć na pomiar napięcia. Odpowiednia sekwencja rozkazów może mieć postać:
- Rs <CR>
  - St(i) <CR> i = 0..9
  - Sl(1,i) <CR> i = 1..8
  - Sl(3,i) <CR> i = 1..4
  - Pr <CR>
  - Go(1,n) <CR> n - liczba próbek
  - Vi(20) <CR> (jeśli n = 30 wówczas)
  - Vi(13) <CR>
- Of — Wyprowadzić z wyjścia uniwersalnego Nr.2 częstotliwość odniesienia równą 1MHz.

Powrót z terminala do 'menu' dokonuje się przez jednoczesne na ciśnięcie klawiszy Alt i X.

## Dane dodatkowe:

masa bloczka: 30,20 g  
masa wieszaka: 10,00 g  
masa nici: 2,00 g