

Uniwersalny strunowy moduł pomiarowy i jego oprogramowanie

ADAM KANCIRUK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

Nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie deformacji terenu spowodowanej podziemną eksploatacją górnictw. Możliwe jest natomiast minimalizowanie jej niekorzystnych skutków dla środowiska i gospodarki przez monitorowanie stanu powierzchni. Monitorowanie to powinno uwzględniać zarówno powolne zmiany związane ze stopniowym zaciskaniem podziemnych pustek, jak i gwałtowne reakcje spowodowane wstrząsami. W opracowaniu przedstawiono uniwersalny moduł pomiarowy przeznaczony do współpracy z przetwornikiem strunowym i umożliwiający rejestrację wielkości mechanicznych o charakterze wolno- i szybkozmiennym. Na jego podstawie przewiduje się skonstruowanie systemu pomiarowo – rejestrującego do kompleksowego monitorowania stanu powierzchni lub budynków na terenach górniczych.

Słowa kluczowe: metrologia, elektronika, geotechnika

Wstęp

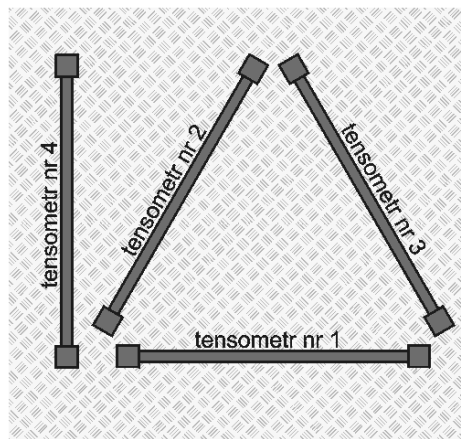
Skutki deformacji powierzchni na terenach objętych eksploatacją górnictw są niekorzystne zarówno dla środowiska naturalnego jak i gospodarki człowieka. Często konsekwencją obniżania się terenu jest powstawanie podmokłych obszarów bezodpływowych zakłócających lub zmieniających miejscowy ekosystem. Przemieszczające się w górotworze skały powodują powstawanie szczelin – nowych dróg migracji wody, przez co również cierpią lokalne stosunki wodne. Zmiana ich jest niekorzystna dla rolnictwa i gospodarki leśnej. Wpływ deformacji powierzchni na obiekty budowlane jest daleko bardziej złożony. Ich konstrukcja może zostać uszkodzona w stopniu grożącym ich stateczności lub stopniu wymuszającym zmianę sposobu użytkowania. Charakterystyczne przykłady niekorzystnego wpływu deformacji terenu na środowisko i uszkodzeń obiektów budowlanych podaje literatura z zakresu szkód górniczych, np. [1].

Pierwotnej przyczyny deformacji terenu – eksploatacji podziemnej kopalni ze względów gospodarczych nie można wyeliminować. Można natomiast minimalizować niekorzystne jej skutki dla środowiska i gospodarki. Poza kosztownym sposobem polegającym na stosowaniu podsadzki, korzystne jest ciągle monitorowanie stanu powierzchni na terenach górniczych przez prowadzenie stosownych pomiarów. Pomiaru te sprowadzają się zasadniczo do dwóch rodzajów: geodezyjnych i tensometrycznych. Pomiaru tensometryczne wykorzystują przetworniki przemieszczenia, zwane krótko tensometrami lub ekstensometrami. Są to urządzenia mechaniczne, elektromechaniczne lub mechaniczno-elektroniczne. Ich bazy pomiarowe nie mogą być ze względów konstrukcyjnych zbyt długie i są najczęściej rzędu kilku metrów. Nie istnieje zatem żadna możliwość pomiaru deformacji terenu względem jakiegokolwiek stałego punktu odniesienia, możliwe są tylko pomiary względne. Tensometry zapewniają jednak znacznie wyższą dokładność i rozdzielczość pomiaru w porównaniu z urządzeniami stosowanymi w geodezji. Poza tym, dołączone do odpowiednich urządzeń pomiarowo – rejestrujących mogą zapewnić stały, automatyczny monitoring stanu powierzchni o praktycznie dowolnej w rozsądnym zakresie częstotliwości próbkowania.

Wykorzystanie drgającej struny do budowy tensometrów jest bardzo dobrym rozwiązaniem, gdyż jak dowodzą wieloletnie badania, przyrządy te wykazują znakomitą stabilność czasową ich parametrów me-

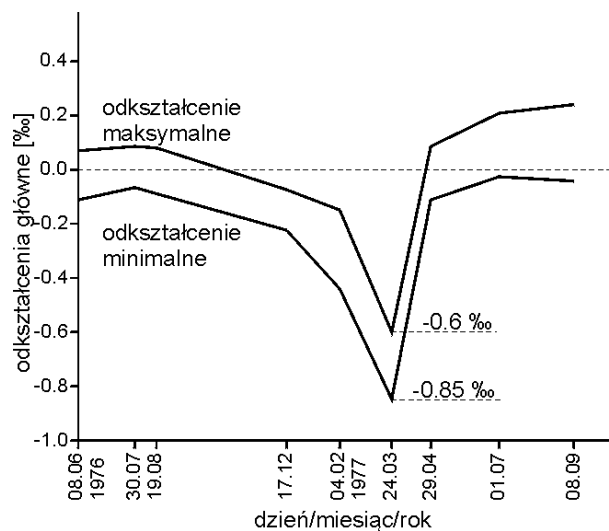
trologicznych. W Instytucie Mechaniki Górotworu PAN przy końcu lat 60-tych XX wieku zaprojektowano gruntowy tensometr strunowy TTCS 4000.3 [2] do pomiaru poziomych przemieszczeń gruntu.

Przy wykorzystaniu tensometrów tego typu prowadzono obserwacje stanu gruntu jedynie o charakterze statycznym. W 1974 roku w Gilowie, w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym zainstalowano 5 rozet tensometrycznych w gruncie u podstawy grobli tworzącej obwałowanie zbiornika odpadów poflotacyjnych kopalni rudy miedzi w Lubinie. Celem instalacji i pomiarów była obserwacja przemieszczenia grobli pod wpływem naporu składowanych półpłynnych odpadów. Podstawowy układ rozety to trzy przetworniki do pomiaru przemieszczeń gruntu typu TTCS 4000.3, każdy o bazie pomiarowej 4 m, ułożone horyzontalnie, w kształt trójkąta równobocznego. Każda z zainstalowanych rozet była wyposażona w identyczny, czwarty, kontrolny przetwornik. Układ rozety wyjaśnia rysunek 1. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczano płaski stan odkształcenia gruntu: kierunki główne odkształceń i ich wartości.



Rys. 1. Układ rozet tensometrycznych zainstalowanych w Gilowie

W dniu 24 marca 1977 roku w obszarze wydobywczym kopalni miał miejsce wstrząs o energii 100 GJ z hipocentrum na głębokości ok. 1250 m [3]. Epicentrum wstrząsu znajdowało się w odległości ok. 5 km od miejsca zainstalowania rozet tensometrycznych. Wszystkie 5 wykazały narastający do dnia wstrząsu skurcz gruntu a następnie powolny powrót odkształceń do stanu wyjściowego. Rysunek 2 przedstawia rozwój odkształceń głównych zmierzonych przy użyciu rozety R5. Inne rozety wykazały odkształcenia podobne, choć mniejsze. Stan aparatury pomiarowej w latach 70-tych XX wieku nie pozwalał na dostatecznie częste przeprowadzanie odczytów wyników. W omawianym przypadku pomiary prowadzono co 1 miesiąc lub nawet



Rys. 2. Zbiornik „Gilów”. Rozwój odkształceń głównych przed i po wstrząsie

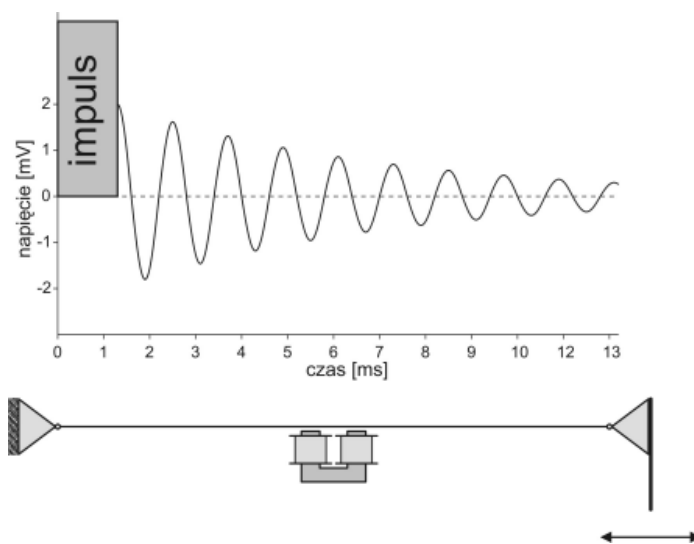
rzadziej. Dlatego, trudno z tak niewielkiej ilości wyników wysnuć wnioski np. o charakterze przemieszczeń gruntu następujących w czasie tuż, przed i po zaistnieniu wstrząsu.

Przytoczony przykład to jednak jak dotychczas jedyny przypadek zarejestrowania przemieszczenia gruntu wywołanego wstrząsem. Wydaje się, że pomiary przemieszczeń gruntu (i budowli) o charakterze szybkozmiennym (dynamicznym) przy użyciu aparatury strunowej są możliwe. Wstrząsy na terenie objętym eksploatacją górniczą to częste i normalne zjawisko. Nawet intuicyjnie można przypuszczać, że przyspieszenia jakie wywołują mają znaczący wpływ na przemieszczenia gruntu lub budowli. Należy zatem mierzyć i rejestrować skutki eksploatacji podziemnej zarówno jako czynnika wywołanego przez powolne zjawiska związane z osiadaniem, jak i procesy szybkozmiennie związane ze wstrząsami.

1. Układ funkcjonalny modułu

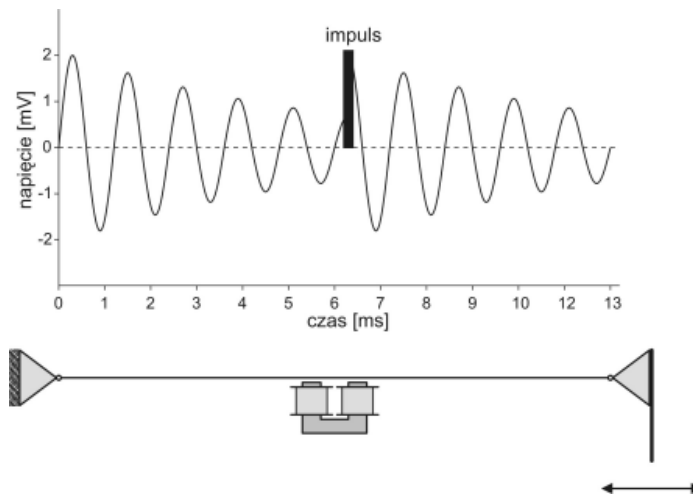
Przetwornik strunowy nie jest samodzielnym urządzeniem pomiarowym, musi być dołączany do wejścia stosownego miernika. Zasadniczymi jego elementami jest struna pomiarowa i elektromagnes. Zmiana mierzonej wielkości mechanicznej (lub temperatury) powoduje zmianę jej naciągu i w konsekwencji zmianę częstotliwości jej drgań własnych. Pobudzenie struny do drgań może być realizowane na 3 sposoby.

Do prowadzenia pomiarów wielkości o charakterze statycznym wystarczające jest okresowe – co kilka sekund lub rzadziej, podawanie na końcówki elektromagnesu impulsu elektrycznego, tak jak obrazowo przedstawia rysunek 3. W dolnej jego części przedstawiono podstawowy układ przetwornika strunowego. Tak inicjowane sinusoidalnie przemienne drgania zanikają eksponencjalnie w czasie kilku sekund, lecz możliwy jest pomiar ich okresu, a raczej (dla zwiększenia dokładności i rozdzielczości) czasu równego pewnej jego wielokrotności (np. 200). Na podstawie wyniku wyliczana jest wartość mierzonej wielkości. Pewną modyfikacją tej metody jest wykonywanie serii pomiarów np. po 10 okresów drgań, aż do momentu gdy ich amplituda stanie się zbyt niska dla czułości wejściowej miernika. W ten sposób realny jest pomiar wielkości o charakterze szybkozmiennym, choć trwać on może tylko niewielki wycinek czasu i musi być inicjowany przez sygnał zewnętrzny [4].



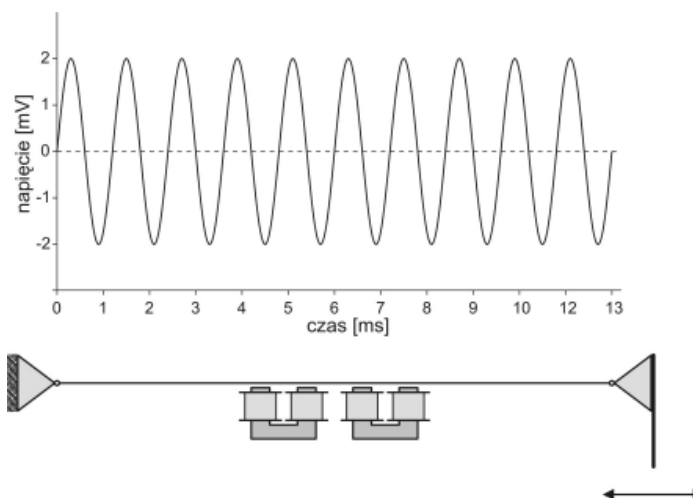
Rys. 3. Pobudzenie struny do drgań pojedynczym impulsem

Lepszym rozwiązaniem jest synfazowe pobudzenie struny do drgań *quasi*-ciągłych przez generowanie ponownego impulsu wzbudzającego zanim amplituda drgań spadnie do zbyt niskiej wartości (rys. 4). Impuls musi być podany w pewnej zgodności z fazą drgań struny tak, aby jego energia zawsze dodawała się do energii drgającej wciąż struny. W ten sposób pomiar czasu trwania wspomnianych 10 okresów może być prowadzony niemal bez przerwy. Bezuzyteczne są jedynie krótkie (kilka okresów) chwile gdy sygnał z przetwornika jest zbyt zakłócony elektrycznymi stanami nieustalonymi wywołanymi przez impuls wzbudzający [5].



Rys. 4. Synfazowe pobudzenie struny

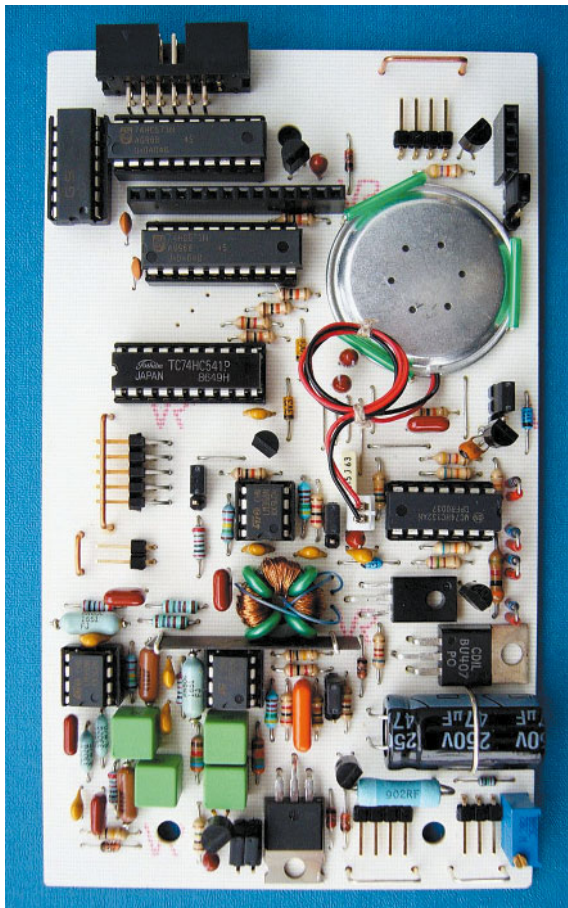
Rozdzielenie funkcji wzbudzania drgań i ich przekształcania w sygnał elektryczny na dwa elektromagnesy daje możliwość użycia przetwornika w pętli sprzężenia zwrotnego układu generacyjnego. Uzyskuje się w ten sposób ciągły sygnał o stałej amplitudzie (rys. 5). Jej wartość może znacznie przekraczać amplitudę uzyskaną podczas wzbudzania impulsowego, a zatem wpływ sygnałów zakłócających ulegnie zmniejszeniu. Wadą tego rozwiązania jest bardziej złożona budowa przetwornika i konieczność użycia 3- lub 4-żyłowego kabla przyłączeniowego.



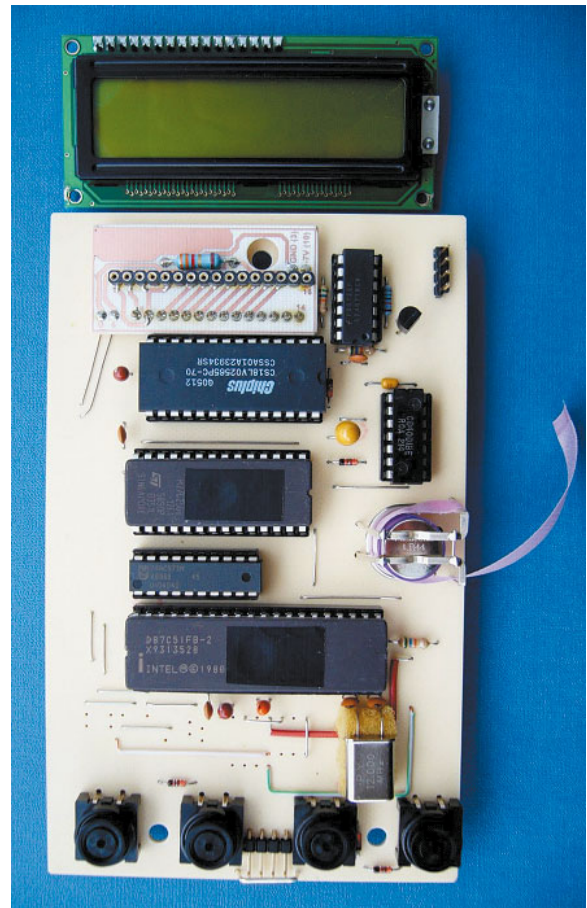
Rys. 5. Ciągłe pobudzenie struny

Układy elektroniczne uniwersalnego modułu strunowego wraz z programem jego mikroprocesora umożliwiają prowadzenie pomiarów z zastosowaniem dowolnego z wyżej przedstawionych sposobów. Moduł został skonstruowany z użyciem 2 płytek drukowanych: analogowej i mikroprocesora, choć na płycie analogowej z przyczyn technicznych zamontowano też niektóre podzespoły cyfrowe. Rysunki 6 i 7 przedstawiają fotografie płytek.

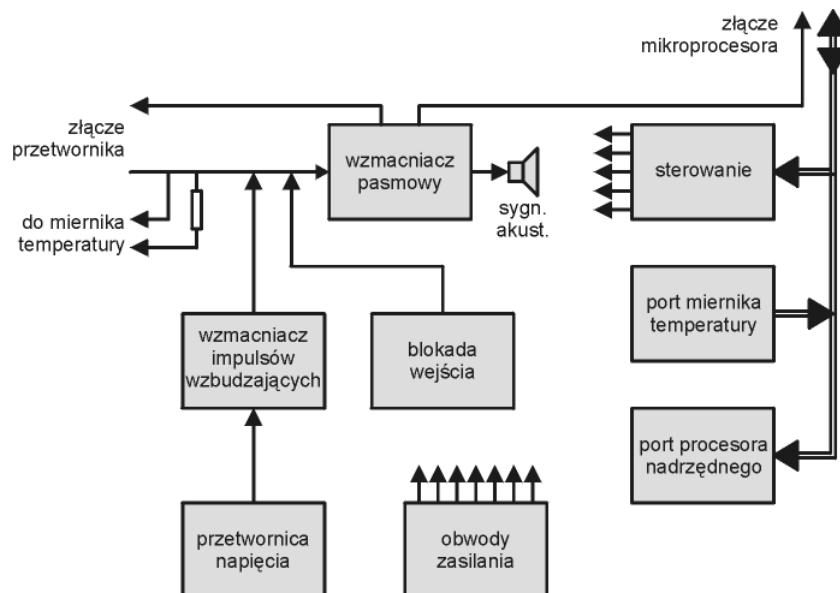
Na płycie mikroprocesora (rys. 7) zmontowany jest dość typowy układ, zawierający mikroprocesor, pamięć EPROM i RAM o pojemności 32768 bajtów, jej baterię retencyjną, sterownik i gniazdo ewentualnego wyświetlacza alfanumerycznego oraz cztery przyciski. Została ona zaadoptowana z wcześniej opracowanego urządzenia [6], niewielkie zmiany, a właściwie uproszczenia poczyniono przy pomocy drutowych mostków. Nie było więc konieczne jej projektowanie 'od podstaw' jak w przypadku płytki analogowej, której schemat blokowy przedstawia rysunek 8.



Rys. 6. Płytkę analogową



Rys. 7. Płytkę mikroprocesora



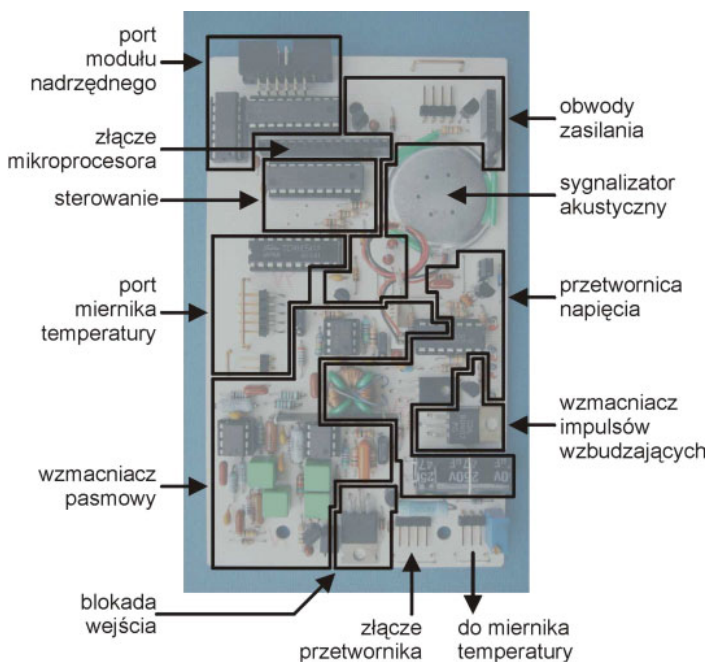
Rys. 8. Schemat blokowy płytki podzespołów analogowych

Najbardziej złożonym podzespołem jest wzmacniacz pasmowy z czterobiegunowym filtrem Bessela o wzmocnieniu statycznym ok. 70 dB i pasmie przenoszenia 500÷1500 Hz. Zawiera on też komparator dostosowujący wzmocniony sygnał do cyfrowego standardu TTL. Dla zabezpieczenia jego wejścia przed uszkodzeniem i minimalizacji wpływu elektrycznych przebiegów niestabilnych wywołanych impulsem

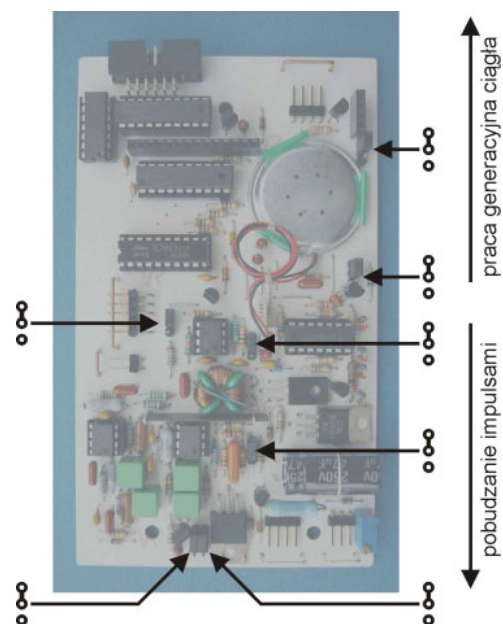
wzbudzającym o amplitudzie ok. 100 V zastosowano układ blokady wejścia. Dla poprawnej pracy wzmacniacza w układzie generacyjnym wyposażono go też w układ automatycznej regulacji wzmocnienia. Podsluch sygnału z drgającej struny umożliwia sygnalizator akustyczny. Przetwornica dostarcza napięcia o wartości ok. 100 V do wzmacniacza impulsów wzbudzających, a obwody zasilania napięć ± 7 V do układów analogowych i 5 V do cyfrowych. Na czas czuwania (bez pomiarów) zasilanie obwodów analogowych może być odłączane. Tym, jak i przetwornicą, wzmacniaczem impulsów i blokadą steruje mikroprocesor.

Układ mechaniczny przetwornika strunowego wykonany jest z materiałów o różnym współczynniku rozszerzalności termicznej. Dlatego na jego wskazania ma wpływ temperatura. Aby jej wpływ skompensować należy wyznaczyć jego charakterystykę temperaturową i oprócz wartości właściwej wielkości mierzyć też temperaturę. Każdy przetwornik strunowy zawiera termorezystor – jest nim miedziane uzwojenie elektromagnesu. Ze względu na bezwładność cieplną przetwornika pomiar temperatury nie musi być realizowany z dużą częstotliwością. Dlatego wystarczającym do tego celu rozwiązaniem jest użycie zmodyfikowanego czterokanałowego miernika typu MPR [6] do pomiaru temperatur 4 przetworników. Modyfikacja polega na uzupełnieniu go w wyjściowy rejestr danych i wprowadzeniu niewielkiej korekty w układ zasilania przetworników pomiarowych tak, aby praca modułu MPR nie zakłócała sygnału wejściowego modułu strunowego. Jego komunikację z MPR zapewnia port miernika temperatury, a regulowany rezystor dołączony do wejścia wzmacniacza wraz z uzwojeniem elektromagnesu przetwornika stanowi rezystancyjny półmostek pomiarowy. Koordynację pracy kilku modułów strunowych zapewni procesor nadrzędny, poprzez swój port.

Rysunek 9 przedstawia fotografię płytki analogowej wraz z naniesionymi konturami obszarów poszczególnych jej podzespołów. Zamontowano na niej 7 zworek elektrycznych (rys. 10) przy których pomocy możliwe jest przełączanie jej trybu pracy. Jeśli zatem wszystkie zworki przestawione są ‘w górę’ wzmacniacz pracuje w układzie generacyjnym z regulacją wzmocnienia i ze stałym zasilaniem. Przetwornica, wzmacniacz impulsu i blokada są odłączone. Jeśli natomiast wszystkie zworki przestawione są ‘w dół’, stosownie do sterowania pracują wszystkie układy, wzmacniacz ma stałe wzmocnienie, a zatem płytka jest dostosowana do pobudzania struny do drgań kolejnymi impulsami elektrycznymi.



Rys. 9. Podzespoły płytki analogowej

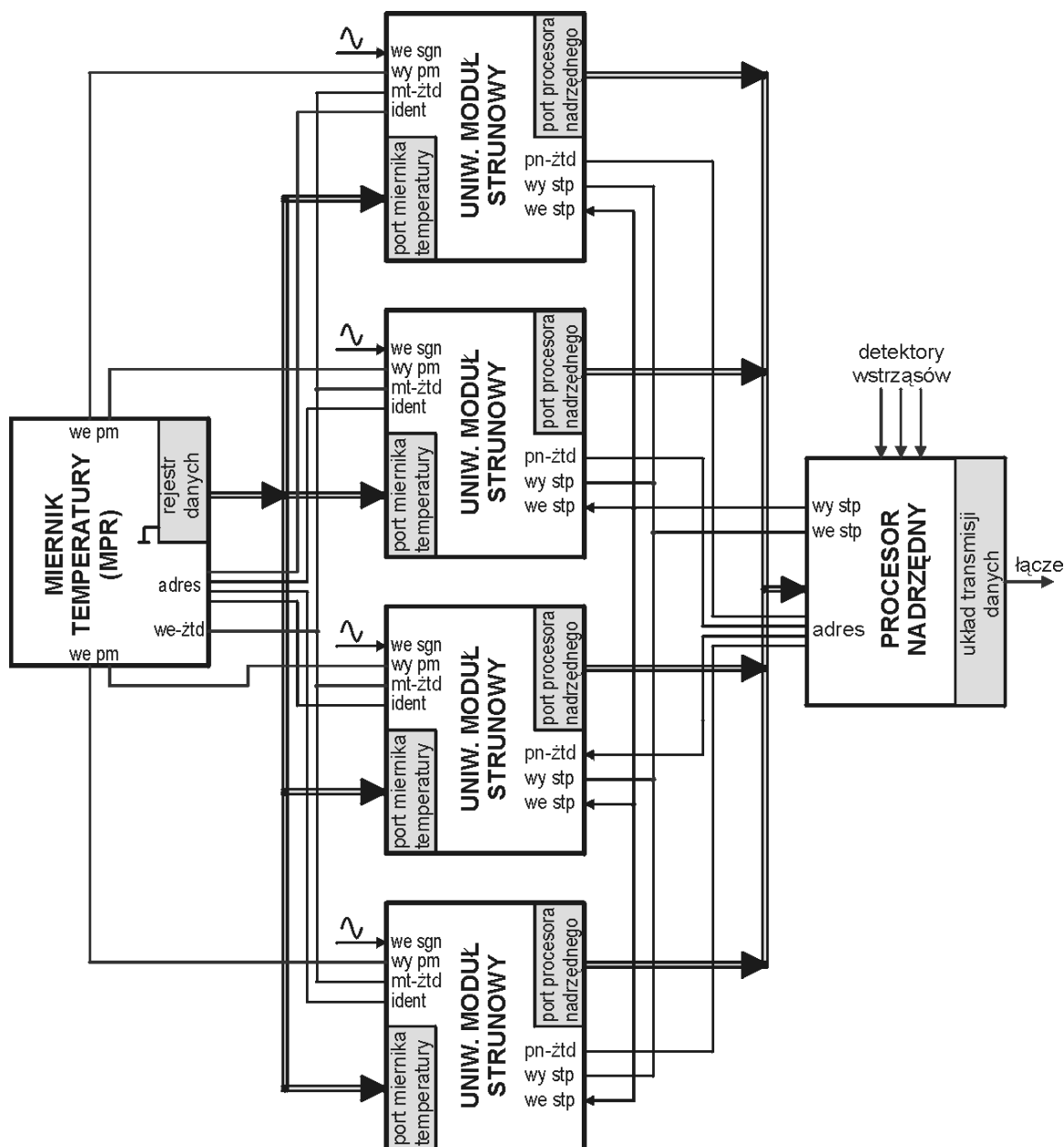


Rys. 10. Przełączanie trybu pracy

Sposób pracy uniwersalnego modułu strunowego nie jest zdeterminowany wyłącznie sprzętowym ustawieniem zworek na płytce analogowej, lecz też programem uruchomionym na mikroprocesorze. Zastosowanie mikroprocesora pozwala na bardzo elastyczne dostosowywanie modułu do bieżących potrzeb. Może on pracować jako urządzenie autonomiczne, lecz bardziej korzystnym ze względu na kompleksowość obserwacji byłoby użycie go jako elementu składowego większego systemu.

2. Idea systemu do monitoringu deformacji terenu

Jak wspomniano we wstępie, różne urządzenia elektromechaniczne, w tym tensometry strunowe pozwalają na konstrukcję automatycznego systemu do monitoringu deformacji terenu. Przykładową ideę takiego systemu przedstawia rysunek 11.



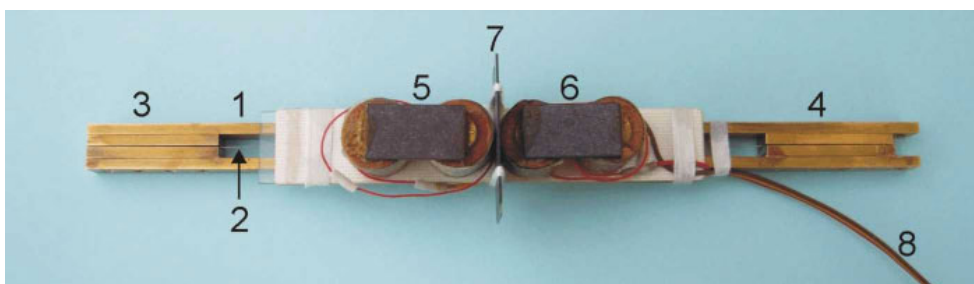
Rys. 11. Idea systemu do monitoringu deformacji terenu

System zawiera 4 uniwersalne moduły strunowe, z których każdy mógłby obsługiwać podłączony do 'we sgn' tensometr rozety przedstawionej na rysunku 1. Uzwojenie elektromagnesu tensometru uzupełnione rezystorem do układu półmostka jest wyprowadzone na 'wy pm' i doprowadzone do 'we pm' miernika temperatury. Każdy z modułów strunowych może zażądać od miernika sygnałem na 'mt-żtd' i dodatkowym identyfikującym 'ident' podanie wyniku pomiaru temperatury tensometru, który w formie danej cyfrowej jest odbierany przez 'port miernika temperatury'. Wynik ten posłuży do korekty termicznej wskazań tensometru. Na płycie mikroprocesora modułu umieszczona jest pamięć RAM. W niej mogą być zapisywane dane, w tym też wyniki reprezentujące kolejne 10 – okresowe pomiary czasu przy pracy struny z pobudzeniem ciągłym

lub *quasi*-ciągłym (rysunki 4 i 5). Gdy zmiany mierzonej deformacji nie przekraczają pewnego ustalonego kryterium, np. przekroczenia wartości progowej, nowe dane mogą być cyklicznie wpisywane w miejsce poprzednich. Stale jednak w pamięci będzie obecna ponad dwuminutowa historia pomiarów. W przypadku spełnienia kryterium cykliczny zapis może być w odpowiednim momencie wstrzymany tak, aby zachować pewną ilość pomiarów przed i po jego spełnieniu. Wstrzymanie zapisów może dotyczyć też pozostałych modułów poprzez wejścia i wyjścia przerywające ‘*we stp*’ i ‘*wy stp*’ łączące moduły z procesorem nadrzędnym. Procesor nadrzędny może zażądać transmisji danych z poszczególnych modułów poprzez ‘*porty procesora nadrzędnego*’. Wstrzymanie zapisu danych może być też zainicjowane sygnałem zewnętrznym, np. pochodzącym z detektora wstrząsów. Dane dotyczące zaistniałego zjawiska mogą być transmitowane poprzez ‘*układ transmisji danych*’ procesora nadrzędnego do miejsca dalszej obróbki. W przypadku zainstalowania systemu poza zasięgiem przewodowej sieci telekomunikacyjnej możliwe jest wykorzystanie telefonii komórkowej systemu GSM [7].

3. Wykonanie próbnego przetwornika strunowego i opracowanie uruchomieniowego oprogramowania. Testowanie modułu

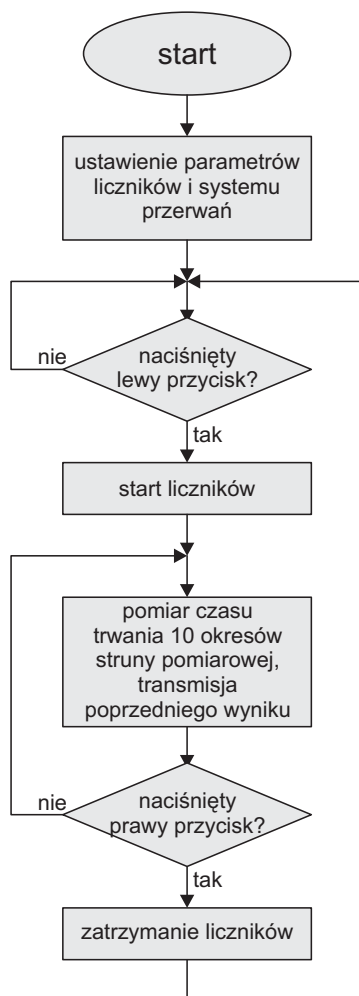
Jak wspomniano we wstępie w Pracowni Odkształceń Skał skonstruowano wiele tensometrów strunowych do pomiarów statycznych. Wykonano też kilka rodzajów mierników strunowych. Nie opracowywano jednakże tensometrów do pomiarów szybkozmiennych, a zwłaszcza zawierających 2 elektromagnesy do pobudzania ciągłego struny jak na rysunku 5. Dlatego w celu sprawdzenia funkcjonowania modułu taki przetwornik należało wykonać. Rysunek 12 przedstawia próbnny przetwornik.



Rys. 12. Próbnny przetwornik strunowy z 2 elektromagnesami

Pomiędzy dwoma mosiężnymi płaskownikami **1** korpusu rozpięta jest stalowa **2** struna o średnicy 0.2 mm zamocowana końcami w zaciskach **3** i **4**. Dwa identyczne elektromagnesy **5** i **6** (wzbudzający i przekształcający drgania struny na sygnał elektryczny) umieszczone są symetrycznie względem struny, odległość między ich nabiegownikami a struną nie przekracza 1 mm. Oba elektromagnesy podłączone są do 3-żyłowego kabla **8** (jedna żyła wspólna). Podczas testów przetwornika zaobserwowano ciekawe zjawisko. Sprężenie pomiędzy elektromagnesami nie jest realizowane tylko przez strunę, ale też i przez istniejące między nimi pole magnetyczne. To szkodliwe sprzężenie w połączeniu z pasmowo przepustowym wzmacniaczem powoduje wzbudzenie się układu z częstotliwością oscylacji około 2 kHz, a więc nieco powyżej górnej granicy pasma wzmacniacza. Odseparowanie elektromagnesów ekranem magnetycznym **7** (kawałek blachy transformatorowej) zmniejszyło poziom sprzężenia. Jak opisano w punkcie 2 do ciągłego pobudzania struny wzmacniacz pracuje z układem automatycznej regulacji wzmocnienia. Gdy wzmocnienie początkowe jest dostateczne duży układ nadal wzbudza się jak poprzednio. W miarę jednak wzrostu sygnału ze struny spada wzmocnienie wzmacniacza i w pewnym momencie staje się niewystarczające dla sprzężenia magnetycznego i oscylacje 2 kHz całkowicie zanikają. W rezultacie otrzymuje się niezakłócony sygnał struny. Zmniejszając wzmocnienie początkowe można szkodliwe oscylacje całkowicie wyeliminować, jednak w tym przypadku narastanie drgań struny do stabilnej amplitudy trwa nawet ponad 2 minuty.

Zapewne na początku, do celów uruchomienia i sprawdzenia funkcjonowania każdego mikroprocesorowego urządzenia pomiarowego należy sporządzić jak najprostszy program, o pewnym, nie budzącym żadnych wątpliwości algorytmie. Do testów płytkę mikroprocesora wyposażono dodatkowo w sterownik



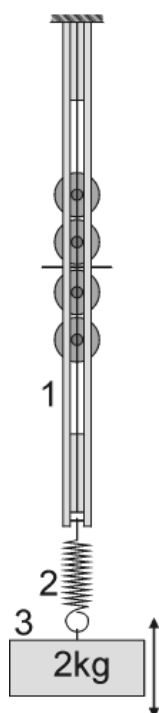
Rys. 13. Algorytm programu uruchomieniowego modułu

portu szeregowego RS232C, jako mikroprocesor zastosowano Intel 87C51FA taktowany rezonatorem kwarcowym 12 MHz. Zawiera on 3 16-bitowe liczniki. Jeden z nich służy do zliczania okresów drgań struny pomiarowej, drugi pełni funkcję czasomierza o rozdzielczości 1 μ s, a trzeci – układu taktującego sterownik portu. Rysunek 13 przedstawia algorytm programu.

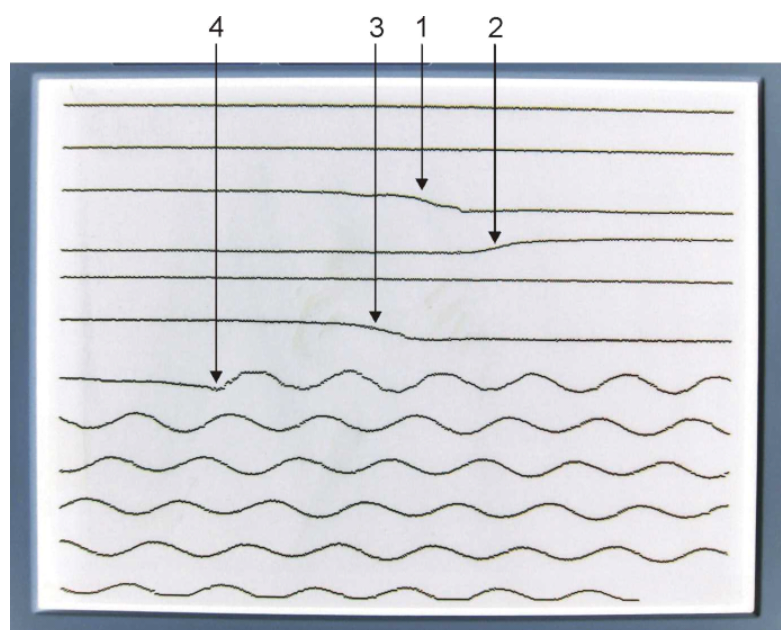
Do odbioru i graficznej interpretacji wyników pomiarowych opracowano krótki program na komputer osobisty napisany w języku Turbo Pascal. Zmontowano też prosty układ do wymuszania odkształcenia struny, który przedstawiono na rysunku 14. Składa się on z opisanego przetwornika próbnego **1**, którego górny koniec zamocowano w imadle, a do dolnego zaczepiono za pośrednictwem sprężyny **2** ciężarek **3** o masie 2 kg. Częstotliwość drgań struny wynosiła ok. 1200 Hz, zatem wyniki pomiarowe przesyłane są do komputera z częstotliwością ok. 120 Hz. Rysunek 15 przedstawia fotografię ekranu monitora komputera wykonaną podczas testu.

Każdy wynik pomiaru jest przedstawiany na ekranie jako punkt. Gdy przetwornik jest w stanie spoczynkowym punkty te tworzą linie wydłużające się w czasie od lewej do prawej strony. Po osiągnięciu prawego brzegu ekranu następną linią tworzoną jest niżej, zawsze w takim samym odstępnie. Po zapełnieniu ekranu (12 linii) ekran jest kasowany i procedura przebiega od początku. Na rysunku jednak zobrazowane są pewne wymuszenia zmieniające napięcie struny. Na początku (2 pierwsze od góry linie) przetwornik nie był obciążony. W miejscu **1** zawieszono na jego końcu ciężarek, a w miejscu **2** zdjęto go. W miejscu **3** zawieszono ponownie, a w miejscu **4** wprawiono układ sprężyna – ciężarek w drgania swobodne o częstotliwości ok. 0.75 Hz. Wyraźnie widoczne są gasnące zafalowania linii. Ostatnia jest nieco krótsza – test zakończono.

Należy zwrócić uwagę na dobrą rozdzielczość pomiaru zmian odkształcenia struny. Dwa płaskowniki korpusu przetwornika mają



Rys. 14. Zastosowanie przetwornika do testu



Rys. 15. Wynik testu

sumaryczny przekrój 7×5 mm i wykonane są z mosiądzu. Można łatwo wyliczyć, że ich odkształcenie ε spowodowane zawieszeniem ciężarka o masie 2 kg wynosi $4.3 \cdot 10^{-6}$ (przy założeniu modułu Younga dla mosiądzu równego 130 GPa). Takie samo jest oczywiście odkształcenie struny. Zarejestrowana zmiana wyniku pomiaru wynosi 16 μ s. Stąd rozdzielczość pomiaru wynosi niemal $0.25 \cdot 10^{-6}$, a przy grubszych strunach o niższej częstotliwości drgań będzie jeszcze lepsza.

Wnioski

Opracowany i przedstawiony wyżej moduł strunowy łączy w sobie wszystkie cechy elektronicznych przyrządów pomiarowych tego typu opracowanych przez autora wcześniej. Nową jego funkcją jest praca w układzie generacyjnym z pobudzaniem struny do drgań ciągłych o stałej amplitudzie. Podczas projektowania założono sprzętowe i programowe dostosowywanie modułu do bieżących potrzeb. Wysoka rozdzielczość pomiaru i częstotliwość ich repetycji rzędu 100 Hz czyni go przydatnym do obserwacji szybkich zmian deformacji terenu w rejonach podziemnego wydobycia złóż, wywołanych dynamicznymi zjawiskami w górotworze takimi jak wstrząsy. Przewidziana jest możliwość pracy w układzie autonomicznym, jak i w bardziej rozbudowanym systemie dzięki zainstalowanym portom wejścia – wyjścia. Pierwsze eksperymenty z użyciem próbnego przetwornika strunowego wykazały poprawną pracę modułu.

Pracę wykonano w ramach pracy statutowej realizowanej w IMG PAN Kraków w roku 2007, finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] S. Szpetkowski. *Pomiary deformacji na terenach górniczych*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1968.
- [2] J. Gustkiewicz i inni. *Some advancements in soil strain measurement methods with special reference to mining subsidence*. Mining Science and Technology, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands.
- [3] S.J. Gibowicz i inni. *Source study of the Lubin, Poland, tremor of 24 March 1977*. Acta Geophys. Pol., 27(1) (1979), 3-38.
- [4] A. Kanciruk. *Wykorzystanie strunowych przetworników deformacji do pomiarów dynamicznych*. ZSMG 2004.
- [5] A. Kanciruk. *Urządzenie do pomiaru wielkości dynamicznych z wykorzystaniem przetworników strunowych*. XXX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii. Szklarska Poręba 11-16. 03. 2007, s. 287-296.
- [6] A. Kanciruk. *Modułowa aparatura do pomiaru i rejestracji wielkości fizycznych charakterystycznych dla badań próbek skalnych*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 1, nr 3-4, s. 281-288 (1999).

Versatile vibrating-wire module and its software

Abstract

It is impossible to eliminate ground and rocks deformations caused by underground mining activity. Therefore, it is necessary to minimize its harmful impact on the environment and economy by means of ground surface monitoring. Slow changes caused by gradually rooms closure should be taken into account and rapid effects caused by tremors as well. In the paper a versatile measuring module attachable to a vibrating-wire transducer is presented. It records values of mechanical quantities both of slow and quick changing types. On its basis a system for complex monitoring of ground surface and buildings can be constructed.

Keywords: metrology, electronics, geotechnical engineering

Recenzował: Prof. dr hab. inż. *Stanisław Wasilewski*, AGH, Kraków