

Cezary BARTMAŃSKI

Andrzej KOBYLECKI

Adam LIPOWCZAN

Zakład Akustyki Technicznej
Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach

NOWA GENERACJA CZUJNIKÓW PRZYSPIESZENIA DRGAŃ GÓROTWORU Z PAMIĘCIĄ WARTOŚCI SZCZYTOWEJ

Streszczenie. Skonstruowano piezoelektryczny przetwornik drgań o dużej czułości napięciowej, wynoszącej 10 V/g, charakteryzujący się tym, że posiada zbudowany układ umożliwiający zapamiętanie maksymalnej wartości mierzonego drgania. Błąd pamiętania wynosi nie więcej niż 5%/14 dni. Ponadto szeroki zakres częstotliwości (0,1-250 Hz), bardzo mały pobór mocy oraz odpowiednia konstrukcja mechaniczna predysponują go do pomiarów drgań gruntu w warunkach terenowych. Większa liczba przetworników może stworzyć sieć terenową, obejmującą swoim zasięgiem znaczny obszar, obsługiwany, dzięki wbudowanej pamięci, przez mało liczną obsługę.

WPROWADZENIE

W badaniach aktywności sejsmoakustycznej górotworu coraz częściej wykorzystuje się informacje wynikające z analizy rozkładu pola drganiowego w płaskim lub przestrzennym układzie współrzędnych. Szczególnego znaczenia nabierają takie badania w ocenie wpływu wstrząsów podziemnych na struktury budowlane rozłożone na powierzchni. Wykonanie badań rozkładów pola drganiowego sprowadza się do pomiarów określonych parametrów ruchu w możliwie gęstej siatce płaskiej lub przestrzennej. Praktyczna realizacja pomiarów wymaga dużej liczby czujników mocowanych do podłoża w objętej obszarze badań powierzchni lub objętości. W konwencjonalnych rozwiązaniach aparaturowych przeprowadzenie pomiaru rozkładu pola drganiowego jest istotnie utrudnione, a przy konieczności wykonania pomiarów na dużym obszarze jest to praktycznie niewykonalne zarówno ze względu na bardzo wysoki koszt przedsięwzięcia, jak i brak odpowiedniej sieci kablowej.

Dla umożliwienia prowadzenia takich badań podjęto w Zakładzie Akustyki Technicznej GIG prace nad skonstruowaniem nowej generacji czujników drgań wyposażonych w integralny obwód pamięci, pozwalający na przechowanie przez dłuższy czas wartości mierzonego parametru drgań.

ZAŁOŻENIA DO KONSTRUKCJI PRYZRĄDU

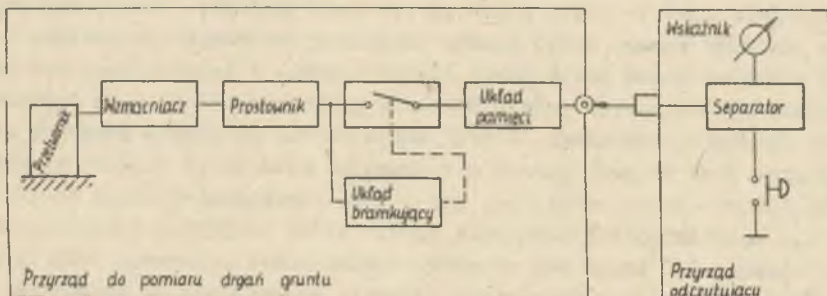
Konstrukcję przyrządu oparto na następujących założeniach:

- ma mierzyć wartość szczytową, prędkości lub przyspieszenia wstrząsów w możliwie szerokim zakresie częstotliwości i w zależności od potrzeb w jednym lub w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach,
- ma być autonomiczny, tzn. zawierać własny układ mierzący, przetwarzający i pamiętający oraz własne bateryjne zasilanie,
- nie powinno być żadnych połączeń kablowych lub telemetrycznych pomiędzy przyrządami tworzącymi sieć terenową,
- powinien być możliwie prosty w budowie, łatwy w montażu i obsłudze oraz przystosowany do długotrwałego zainstalowania w terenie,
- powinien przechowywać informację o wstrząsie przez długi okres czasu, pozwalający na obsługę dużej liczby czujników przez możliwie nieliczną obsługę,
- winien zapewniać możliwości dokonania odczytów wartości mierzonego parametru bez demontażu stanowiska pomiarowego.

Analiza powyższych założeń oraz posiadane doświadczenia [1], [4] w konstrukcji czujników i aparatury do pomiaru drgań wskazują, że optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie przetworzenia mechaniczno-elektrycznego z wykorzystaniem efektu piezoelektrycznego [2], [3].

ZASADA DZIAŁANIA

Blokowy układ przyrządu pokazano na rys. 1. Na wejściu układu znajduje się specjalnie opracowany przetwornik piezoelektryczny o wysokiej czułości w szerokim zakresie wartości przyspieszeń i pasmie częstotliwości.

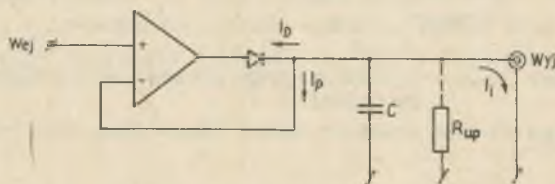


Rys. 1. Układ blokowy przyrządu



Powstający pod wpływem wstrząsu ładunek elektryczny, proporcjonalny do przyspieszenia, jest wzmacniany i przetwarzany we wzmacniaczu ładunku na odpowiadające mu napięcie elektryczne.

Ponieważ sygnał napięciowy jest przemienne, zostaje w następnym obwodzie wyprostowany. Pomiar i pamiętanie wartości szczytowej mierzonego sygnału odbywa się w układzie detektora przedstawionego ideowo na rys. 2. Konwencjonalne rozwiązania układowe detektora pozwalają osiągnąć czasy przechowywania informacji rzędu kilku lub w najlepszym przypadku kilkunastu godzin.



Rys. 2. Schemat ideowy układu detektora wartości szczytowej
Fig. 2. Diagram of top value detector

Wartości takie nie zapewniają spełnienia założeń. Analiza układu detektora wartości szczytowej (rys. 2) wskazuje, że niezbędna wartość łącznej rezystancji upływu, bocznikującej kondensator pamiętający mierzony parametr (element C na schemacie) dla założonego błędu pamiętania, powinna wynosić $R_{\Sigma} \approx 5 \cdot 10^{12}$.

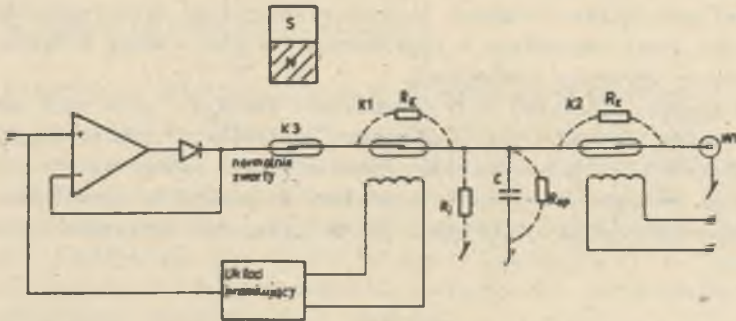
Przeprowadzone pomiary szeregu typów kondensatorów wykazały, że dostępnych jest kilka typów tych elementów, których rezystancja dielektryka jest wystarczająca dla zapewnienia wymaganego czasu pamiętania. Jednakże pasożytnicze prądy upływu elementów półprzewodnikowych (I_D , I_p) i innych elementów konstrukcyjnych (I_1) wykluczają możliwość spełnienia wymaganego długotrwałego pamiętania zmierzonej wartości.

Rozwiązanie tej trudności uzyskano po zastosowaniu elementów przyłączających kondensator C na wyjście detektora jedynie na czas pomiaru, a do gniazda wyjściowego na czas odczytu wartości zapamiętanej (rys. 3).

W fazie pamiętania kondensator C jest odcinany stykami K1 i K2 od reszty układu i o dokładności pomiaru decyduje upływność kondensatora R_{up} , rezystancja rozwartych styków R_K oraz rezystancja izolacji elementów konstrukcyjnych R_1 .

Bardzo staranny montaż oraz odpowiedni dobór elementów i materiałów konstrukcyjnych pozwolił na uzyskanie w rozwiązaniu modelowym wypadkowej rezystancji upływu rzędu $10^{12} \Omega$. Wartość ta zapewnia błąd pamiętania nie większy niż 5% w ciągu 14 dni.

Jeden lub większą liczbę czujników obsługuje blok odczytu (rys. 1). Zadaniem bloku odczytu są:

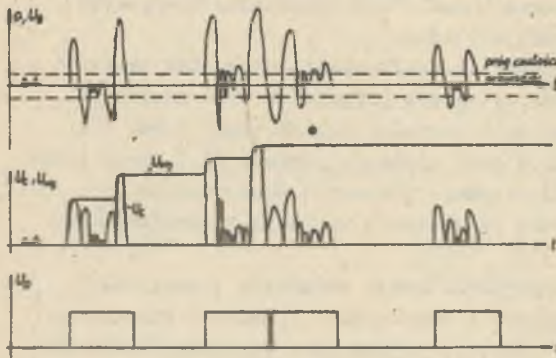


Rys. 3. Schemat ideowy układu detektora przy zastosowaniu elementów przyłączających

Fig. 3. Diagram of the detector using connecting elements

- odczytanie wartości zapamiętanej w układzie pamięci,
- skasowanie wartości zapamiętanej,
- sprawdzenie stanu baterii zasilających.

Odczyt zapamiętanej wartości odbywa się po przyłączeniu kabla łączącego czujnik z blokiem odczytu. Dla wyeliminowania zakłóceń mechanicznych, powstających przy przyłączaniu bloku odczytu, a tym samym powstania błędnych sygnałów elektrycznych, przyrząd został wyposażony w układ arestujący. Układ ten sterowany jest z zewnątrz magnesem stałym przykładanym do oznaczonego na obudowie miejsca przed włożeniem kabla bloku odczytu do gniazda wyjściowego czujnika. Magnes stały powoduje elektryczne odłączenie układu pamięciowego od obwodu detektora (rys. 3).



Rys. 4. Przebiegi czasowe sygnałów w różnych punktach przyrządu

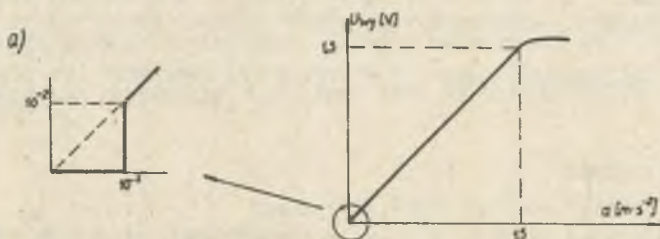
Fig. 4. Times of signal at different points of the detector

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi czasowe sygnałów zmierzone w różnych punktach przyrządu. W analizie działania przyrządu, interesujący jest przypadek, w którym czas trwania wstrząsu jest dłuższy od generowanego impulsu bramkującego. Odpowiednio dobrane parametry obwodu bramkującego powodują, że układ ten charakteryzuje się bardzo małym czasem martwym. Oznacza to, że układ ten generuje po bar-

dzo krótkim okresie czasu następny impuls, zapewniając w ten sposób ciągłość pomiaru.

CHARAKTERYSTYKI CZUJNIKA

Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę przejściową czujnika z wydzieleniem części początkowej na rys. 5a. Dolna wartość mierzonego przyspieszenia wynika z poziomu szumów układu. Uzyskana w rozwiązaniu modelowym minimalna wartość mierzonego przyspieszenia 10^{-2} m/s^2 jest na ogół wystarczająca w praktycznych zastosowaniach. Górna wartość zakresu dynamiki przyrządu wynika z właściwości układu elektronicznego oraz przyjętej wartości napięcia źródła zasilania i wynosi $1,5 \text{ m/s}^2$. Daje to dynamikę 43 dB.



Rys. 5. Charakterystyka przejściowa czujnika

Fig. 5. Transient characteristic of the detector

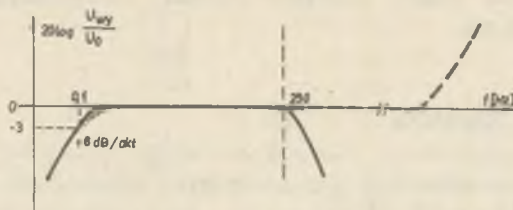
Na rys. 6 przedstawiono charakterystykę amplitudowo-częstotliwościową. Dolna częstotliwość graniczna wyznaczona jest przez parametry wzmacniacza ładunku znajdującego się na wejściu układu i wynosi w rozwiązaniu modelowym 0,1 Hz. Należy zaznaczyć, że wartość dolnej częstotliwości granicznej należy wybrać w stosunku do rzeczywistych potrzeb wynikających z celu pomiaru. Im niższa wartość tej częstotliwości, tym bardziej trzeba rozbudowywać układ i stosować specjalne rozwiązania przetworników piezoelektrycznych. Powoduje to zwielokrotnienie kosztów przyrządu.

Wartość górnej częstotliwości granicznej wyznaczona jest parametrami czasowymi przełączników. W rozwiązaniu modelowym uzyskano $f_g = 250 \text{ Hz}$.

Z powyższych danych wynika, że użyteczne pasmo częstotliwości zawiera się w granicach 0,1 Hz - 250 Hz i jest kilkakrotnie szersze od możliwych do uzyskania pasm w przenośnych sejsmometrach.

Podstawowe parametry czujnika:

- minimalna wartość rejestrowanych przyspieszeń 10^{-2} m/s^2
- maksymalna wartość rejestrowanych przyspieszeń $1,5 \text{ m/s}^2$
- dynamika 43 dB



Rys. 6. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa
Fig. 6. Attenuation-frequency diagram

- pasmo częstotliwości	0,1-250 Hz
- czas przechowywania informacji	14 dni
- zasilanie	4 x R20
- pobór prądu	0,7 mA przy \pm 3V DC
- zakres temperatury pracy	- 20°C \pm + 50°C

UWAGI KOŃCOWE

Doświadczenia uzyskane w trakcie eksploatacji przyrządu wskazują na jego dużą użyteczność, wynikającą zarówno z zastosowania stosunkowo długoczasowej pamięci mierzonego parametru, jak i integralności zasilania eliminującego konieczność budowy sieci zasilającej i transmisji danych.

W dotychczasowych zastosowaniach parametry przyrządu podane wyżej są wystarczające. Istnieje możliwość zwiększenia zarówno zakresu dynamicznego, jak i przenoszonego pasma częstotliwości. Zwiększy to jednak koszt przyrządu.

Ograniczenia zastosowania czujnika wynikające z zasady działania, to:

- pomiar i rejestracja jedynie wartości szczytowej przyspieszenia lub prędkości wstrząsu,
- brak informacji o czasie wystąpienia wstrząsu.

Drugie ograniczenie wyklucza zastosowanie do lokalizacji ognisk wstrząsów metodą czasu pierwszego dojścia fali. W zastosowaniach, dla których przyrząd był opracowany, tj. w badaniach rozkładu pola wstrząsowego, ograniczenie to nie ma większego znaczenia. Zakłada się bowiem, że czas występowania wstrząsu rejestruje stacja sejsmologiczna, która po jego zaistnieniu wydaje polecenie przeprowadzenia odczytów w sieci czujników z pamięcią. Ekipa pomiarowa wykonuje odczyt i po skasowaniu zapamiętanej wartości pozostawia czujniki w gotowości do następnego działania. Korzystne wyniki uzyskane w dotychczasowych zastosowaniach wskazują na celowość rozbudowy obwodu pamięci dla umożliwienia zapamiętania całego przebiegu cza-

sowego wstrząsu. Koszt takiego rozwiązania będzie oczywiście wyższy od omówionego wyżej, ale wydaje się, że przy budowie większej sieci pomiarowej wystarczy kilka czujników z rozbudowaną pamięcią, aby uzyskać wystarczającą dokładność oceny szybkości tłumienia, czasu zanikania wstrząsów itp.

Rozwiązanie jest objęte ochroną patentową.

LITERATURA

- [1] Lipowczan A.: Przetwarzanie sygnałów wibroakustycznych w górnictwie w ujęciu systemowym. Przegląd Górniczy nr 7-8, 1981.
- [2] Kobylecki A.: Piezoelektryczne przetworniki do pomiaru drgań na stanowiskach pracy. Bezpieczeństwo Pracy nr 2, 1984.
- [3] Kobylecki A.: Doświadczenia własne przy konstrukcji piezoelektrycznego przetwornika przyspieszenia. Zeszyty naukowe AGH nr 6, Kraków 1979.
- [4] Kobylecki A., Lipowczan A.: Kryteria doboru rodzaju przetwornika i jego parametrów konstrukcyjnych. Mat. XXVI Otwartego Seminarium z Akustyki 1979 r.

Recenzent: Prof. dr hab. Aleksander Opilski

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1985 r.

НОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД С ПАМЯТЬЮ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

Р е з ю м е

Разработано пьезоэлектрический преобразователь колебаний с большой чувствительностью напряжения, до 10 В/г характеризующийся тем, что имеет встроившую систему позволяющую запоминать максимальное значение измеряемых колебаний. Ошибка запоминания не превышает более чем 5%/14 дней. Обладает широким диапазоном частот (0,1 - 250 Hz) при небольшой потребляемой мощности. Его механическая конструкция позволяет проводить измерения колебаний грунта в полевых условиях. Большое количество преобразователей позволяет создать систему, охватывающую довольно большую площадь, которую, благодаря встроившей памяти может обслуживать небольшой по своей численности персонал.

NEW KIND OF ROCK VIBRATION ACCELERATION DETECTOR WITH TOP VALUE MEMORY

S u m m a r y

Piezoelectric vibration converter with a big voltage sensitivity being 10 V/g has been constructed; it possesses the system that allows for storage of maximum value of measured vibration. Storage error is not more than 5%/14 days. Moreover, wide frequency range (0,1-250 Hz), very small power consumption and proper mechanical construction are the features allow for ground vibration measurements in the open area. Bigger number of converters can cover quite a big area, and can be controlled by a few people thanks to internal store.