

Telemetryczny miernik strunowy TMS-1

ADAM KANCIRUK

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

Streszczenie

Pomiary przemieszczeń gruntu często prowadzone są w terenie odległym od zabudowań. Dlatego dobrym sposobem jest użycie do pomiarów automatycznych urządzeń pomiarowo-transmisyjnych, przesyłających dane pomiarowe z wykorzystaniem łączności radiowej. W opracowaniu przedstawiono zaprojektowany i skonstruowany miernik wykorzystujący możliwość przesyłu danych w postaci cyfrowej z wykorzystaniem sieci telefonii komórkowej. Urządzenie automatycznie wykonuje pomiary przy użyciu przetworników strunowych, odpowiednio koduje dane pomiarowe i przesyła do miejsca przeznaczenia przy pomocy standardowego telefonu. W ten sposób zarówno konstrukcja urządzenia jak i jego eksploatacja jest tania. Konieczność jego długoczasowej, bezobsługowej pracy przy zasilaniu bateryjnym wymaga też minimalizacji jego zapotrzebowania na energię.

Słowa kluczowe: metrologia, elektronika, telekomunikacja, geotechnika

1. Wstęp

Do długotrwałej obserwacji zmian wielkości mechanicznych i temperatury korzystnym jest stosowanie przetworników strunowych. Zasadniczą zaletą tych przetworników jest ich bardzo dobra czasowa (wieloletnia) stabilność parametrów metrologicznych. Poza tym ich niedroga produkcja jest następstwem prostej konstrukcji z wykorzystaniem powszechnie dostępnych materiałów. Przetworniki nie zawierają wrażliwych na wyładowanie elektryczne elementów elektronicznych, a ich częstotliwościowy sygnał wyjściowy jest w znacznym stopniu odporny na zakłócenia.

Zasadniczymi elementami każdego przetwornika strunowego jest elektromagnes i rozpięta w jego polu magnetycznym stalowa struna. Zmiana mierzonej wielkości powoduje zmianę częstotliwości jej drgań własnych. Drgania te przekształcane są na sygnał elektryczny przy pomocy elektromagnesu. Ten sam elektromagnes po przyłożeniu na jego końcówki impulsu elektrycznego pobudza strunę do drgań sinusoidalnych, eksponencjalnie zanikających. Szczegółowy opis zasady działania przetwornika strunowego zamieszczono np. w publikacji [1].

Pomiary zmian wielkości mechanicznych i temperatury można prowadzić ręcznie przy pomocy mierników strunowych np. KA-3D (prosty, wykonany z użyciem układów scalonych CMOS serii 4000 z odczytem wizualnym) [2]. Mikroprocesorowy miernik KA-7D [3], z pamięcią i możliwością pracy automatycznej z wykorzystaniem dodatkowego multipleksera i przesyłu danych kablem do komputera może być użyty zarówno do pomiarów ręcznych, jak i automatycznie cyklicznie powtarzanych. W tym wypadku urządzenie może pracować bezobsługowo przez okres ok. 1 miesiąca, po którym konieczny jest przesył zebranych danych najlepiej do komputera typu note-book.

Rozwiązanie to zostało zastosowane do obserwacji przemieszczeń gruntu na terenie kopalni węgla kamiennego „Wesoła” i „Ziemowit” w latach 2001-2002 [4]. Mimo automatycznej pracy konieczność co-miesięcznego odkopywania urządzenia, wymiany baterii i przepisywania danych do komputera w leśnym podmokłym terenie (trudny dostęp, chmary komarów) była nadzwyczaj uciążliwa. Oczywiście możliwe jest skonstruowanie przyrządu bardziej energooszczędnego, o większej pamięci i wydłużeniu czasu pracy urządzenia, ale rozwiązanie to nie będzie nadal pozbawione wady niemożności wykorzystania danych po-

miarowych na bieżąco. Poza tym brak jakiegokolwiek kontroli nad urządzeniem w czasie jego automatycznej pracy może doprowadzić do utraty znacznej ilości danych. Dnia 16 września w kopalni „Wesoła” zaobserwowano znaczny wstrząs górotworu. Niestety, kilka dni wcześniej praca miernika-rejestrowa została zatrzymana i dane pomiarowe z tego okresu zostały utracone. W tym przypadku praca mikroprocesora została „zawieszona” prawdopodobnie przez bliskie wyładowanie atmosferyczne. Wprawdzie mikroprocesor nie był wyposażony w układ „watch-dog”, kontrolujący jego pracę i ewentualny jego reset, ale układ ten nie pomógłby w przypadku trwałego uszkodzenia.

Zatem zdecydowanie najlepszym rozwiązaniem jest transmisja danych pomiarowych na bieżąco do miejsca dalszej ich obróbki. Brak transmisji oznacza w tym przypadku zaistnienie jakiejś nieprawidłowości i możliwość interwencji. Utrata danych pomiarowych może być bardzo niewielka lub żadna. Na początku lat 90-tych XX wieku zaprojektowano i skonstruowano strunowy system pomiarowy SSL-1 [5] złożony z trzech urządzeń: pomiarowo-transmisyjnego, odbiorczo-rejestrującego i transmisji danych do komputera. Urządzenie: pomiarowo-transmisyjne, o zasilaniu bateryjnym przeznaczone jest do umieszczenia w pobliżu układu przetworników i podłączenia ich kablami. Dane pomiarowe po odpowiednim zakodowaniu i jako sygnał zmodulowany częstotliwościowo podawane są na wejście analogowego radiotelefonu pracującego w paśmie 144 MHz. Urządzenie odbiorczo-rejestrujące o zasilaniu sieciowym z bateryjnym buforowaniem powinno być zatem montowane w miejscu wyposażonym w sieć elektryczną 230 V w odległości od poprzedniego urządzenia zapewniającej poprawną transmisję. Urządzenie odbiorczo-rejestrujące wyposażone jest w odłączalną pamięć. Pamięć ta, może być przenoszona do urządzenia transmisji danych do komputera i zapisane w niej dane pomiarowe przepisane do komputera.

System ten obecnie trudno nazwać nowoczesnym. Konstrukcja jego jest kosztowna i wciąż niezbyt wygodna w eksploatacji. Praca łącza radiowego w niestrzeżonym paśmie amatorskim powoduje znaczną podatność na zakłócenia. Sposób kodowania danych i modulacji też wymaga ulepszenia, co obecnie nie ma sensu.

2. Możliwości transmisji danych pomiarowych z wykorzystaniem systemu telefonii komórkowej GSM

Prace nad systemem GSM (*Groupe Spéciale Mobile*) rozpoczęto w 1982 roku w Zachodniej Europie, a już w roku 1993 w 18 krajach działały już 32 sieci [6]. Obecnie jego zasięg jest ogólnosiwiatowy (stąd przemianowanie skrótu „GSM” na „*Global System for Mobile communications*”) – poza Japonią i częściowo USA, które opracowały konkurencyjne systemy. System ten wykorzystuje pasma radiowe 890-960 MHz, 1710-1880 MHz i w okolicach 1900 MHz (tylko w USA). Nazwa „komórkowy” pochodzi od podziału terytorium na którym dany system działa na sześciokątne obszary – komórki. Ich wielkości nie przekraczają 40 km. W każdej komórce działa 1 tzw. stacja bazowa łącząca się bezpośrednio z telefonami. Stacje bazowe połączone są z centralą GSM zazwyczaj kablami mikrofalowymi. Każde pasmo częstotliwości podzielone jest na kanały (w paśmie 900 MHz 124 kanały kierunku stacja bazowa – telefon i 124 dla kierunku przeciwnego). Oczywiście stacje bazowe muszą mieć przydzielone kanały (maks. 16) tak, aby wzajemnie nie zakłócały się. Każdy kanał jest podzielony na 8 szczelin czasowych i może obsłużyć do 8 połączeń. Telefon stale mierzy poziom sygnału ze stacji bazowych we wszystkich kanałach i do połączenia wykorzystywany jest niezajęty o najwyższym poziomie. Tak więc kanał połączeniowy dla danego telefonu jest przydzielany dynamicznie, umożliwiając niezauważalne przełączenia kanałów i stacji bazowych przy przekraczaniu granic komórek.

Poza możliwością prowadzenia rozmów w systemie GSM są oferowane inne usługi, w tym możliwość wysyłania krótkich (do 160 znaków) wiadomości tekstowych typu SMS (*Short Message Service*). Jest to usługa tania i przydatna do transmisji niewielkich pakietów danych cyfrowych. Jej niezaprzeczalną zaletą jest też możliwość przesyłu nie tylko do każdego innego telefonu, ale też – poprzez bramkę SMS do dowolnego komputera podłączonego do Internetu jako e-mail. W dalszej części opracowania „wiadomość tekstowa typu SMS” będzie oznaczana krótko „SMS”. SMS-y nie są przesyłane bezpośrednio do telefonu odbiorcy, który może być w tej chwili wyłączony lub poza zasięgiem sieci, lecz najpierw do Centrum Serwisu SMS, skąd dopiero są przesyłane do odbiorcy po ewentualnym jego uaktywnieniu. Każda sieć ma swoje Centrum Serwisu SMS i przyporządkowany mu numer.

Mimo, że każdy telefon jest przystosowany do przesyłu SMS-ów, a wiele posiada wejście – wyjście danych, tylko firma Siemens publikuje dla modeli C35i, M35i, S35i i S45 sposób wykorzystania ich uprosz-

czonego łącza RS232C [7]. Do pierwszych eksperymentów wykorzystano model C35i, a do konstrukcji przyrządu – C45.

Podręcznik [8] zawiera opis instrukcji GSM 07.05, dotyczących SMS. Do przesyłu danych wystarczająca jest tylko jedna z nich: AT+CMGS (Send an SMS). Przesyłane dane są zawarte w jej segmencie PDU (Protocol Data Unit). Konstrukcja PDU określona jest przez normy GSM04.11 i GSM03.40, które najprawdopodobniej nie zostały dotychczas opublikowane. Informacje zawarte w [7] są bardzo fragmentaryczne, a nawet sprzeczne ze stanem faktycznym. Cenny okazał się natomiast artykuł [9], choć i on nie wyjaśnia dokładnie konstrukcji PDU. Z tego względu konieczne było rozszyfrowanie PDU przy pomocy SMS-ów przesyłanych między dwoma telefonami, odczyt ich instrukcją AT+CMGR (Read in an SMS), przesył do komputera i pracochłonne dekodowanie otrzymanego ciągu ok. 100 znaków.

Jak już wspomniano, użyteczne do transmisji danych telefony Siemens są wyposażone w uproszczone łącza RS232C. Zawierają one tylko wyjście TxD, wejście RxD i oczywiście masę GND. Pod względem elektrycznym poziomy napięcie też odbiegają od standardu: jedynie logicznej odpowiada napięcie ok. 2.6 V, zera – bliskie potencjału masy. Szybkość transmisji wynosi 19200 bitów na sekundę. Nie występuje bit kontroli parzystości, a bit stopu jest tylko jeden.

Załóżmy, że do telefonu pracującego w sieci Plus-GSM o hipotetycznym numerze 697 123 456 będzie przesyłany SMS o treści „SMS via RS232C port”. Pierwsza część komendy podanej na wejście TxD telefonu ma postać:

AT+CMGS=31<cr> czyli heksadecymalnie (kody ASCII): 61742B636D67733D33310D

gdzie liczba 31 oznacza długość PDU w bajtach. Jak okaże się dalej, faktyczna długość PDU w tym przykładzie wynosi 39 bajtów. Różnica (8) jest stała, najprawdopodobniej część PDU zawierająca numer Centrum Serwisu SMS nie jest brana pod uwagę. Długość PDU podawana jest jako 1-, 2- lub 3-cyfrowa liczba dziesiętna. Po wysłaniu pierwszej części komendy następuje przerwa 1.2 s. Druga część komendy (PDU<ctrl-z>) ma postać:

07918406010013F011560B918496173254F60000A713D3E614644F8741D2A96C261B82E06F391D1A

gdzie 8 pierwszych bajtów zawiera numer Centrum Serwisu SMS:

07 – długość numeru w bajtach łącznie z „91”. Jest to liczba binarna

91 – oznacza numer w formie międzynarodowej

84 06 01 00 13 F0 – zakodowany numer. Każdy bajt jest podzielony na 2 tetrazy, z których każda zawiera dziesiętną cyfrę jako BCD. Młodsza tetraza zawiera starszą cyfrę (!), tak więc numer należy zdekodować jako 48 60 10 00 31 0F, czyli 48 601 000 310 (dla sieci Plus GSM – łącznie z międzynarodowym numerem „48” dla Polski). Ostatnia tetraza (F) nie jest użyta. Następnie:

11 – znaczniki SMS-a: są niezmiennie

56 – numer kolejny SMS-a. Jest to liczba nieistotna gdyż telefon przydziela swój własny numer

0B – długość numeru adresata SMS-a, tym razem w tetradach (11 tetrad, 11 cyfr) ale bez „91”. Jest to liczba binarna

91 – numer w formie międzynarodowej jak poprzednio

84 96 17 32 54 F6 – zakodowany jak poprzednio numer 48 697 123 456

00 00 A7 – 3 niezmiennające się bajty o niejasnym przeznaczeniu (w [9] zdefiniowane są 2)

13 – długość przesyłanego SMS-a (liczba binarna) jako liczba znaków: 13(H) = 19 (D)

D3E614644F8741D2A96C261B82E06F391D – zakodowany SMS.

Poszczególne znaki kodowane są zgodnie ze standardem ASCII jako 7-bitowe słowa. Tymczasem informacja do budowy PDU jest podzielona na bajty. 7-bitowe słowa są tak umieszczane w bajtach, że ich niezajęte najstarsze bity są przydzielane młodszej części następnych słów. Ilustruje to przykład, w którym kropka dzieląca bity w poszczególnych bajtach oddziela 7-bitowe słowa, czyli znaki. Z prawej strony ciągu bitów jest znak (lub 2 znaki), którego najstarszy bit należy do danego bajtu.

<u>D3</u>	1.101 0011	S
<u>E6</u>	11.10 0110	M
<u>14</u>	000.1 0100	S
<u>64</u>	0110. 0100	<spacja>
<u>4F</u>	0100 1.111	v

<u>87</u>	1000 01.11	i
<u>41</u>	0100 000.1	a<spacja>
<u>D2</u>	1.101 0010	R
<u>A9</u>	10.10 1001	S
<u>6C</u>	011.0 1100	2
<u>26</u>	0010. 0110	3
<u>1B</u>	0001 1.011	2
<u>82</u>	1000 00.10	C
<u>E0</u>	1110 000.0	<spacja>p
<u>6F</u>	0.110 1111	o
<u>39</u>	00.11 1001	r
<u>1D</u>	000.1 1101	t

Każdy bajt kodowany jest jako para znaków 0..9 i A..F (zgodnie z ASCII). Tak więc pierwszy bajt reprezentujący znak „S” i najmłodszy bit znaku „M” kodowany jest jako para znaków „D” i „3”, czyli 2 bajty (heksadecymalnie): 44 i 33.

PDU kończy 1A (binarnie) czyli <ctrl-z>.

Można zauważyć, że kodowanie składników komendy, choć jednoznaczne, jest dość zawile i niejednolite. Przykładowo, liczba oznaczająca długość raz jest kodowana jako cyfry dziesiętne zgodnie z ASCII, innym razem kodowana binarnie i tutaj są dalsze 2 przypadki: liczba bajtów (łącznie z „91”) albo liczba cyfr (tetrad), ale bez „91”. Nic dziwnego, że autor artykułu [9] zatytułował go w ten sposób.

3. Układ miernika TMS-1

Ze względów ekonomicznych do budowy miernika TMS-1 zaadaptowano wspomniane we wstępie urządzenie pomiarowo-transmisyjne systemu SSP-1 umieszczone w solidnej metalowej hermetycznej obudowie. Urządzenie to zawierało płytkę zegara, płytkę układów analogowych i układu mikroprocesorowego, blok baterii i radiotelefon. Radiotelefon został oczywiście wymontowany, a jego miejsce zajął telefon Siemens C45 umieszczony w dodatkowej obudowie. Do układu dobudowano ponadto 8-wejściowy multiplekser, który umożliwia współpracę z maksymalnie 8 przetwornikami. Elementami przełączającymi są miniaturowe przekaźniki, przetworniki przełączane są dwubiegunowo. Multiplekser sterowany jest przez mikroprocesor.

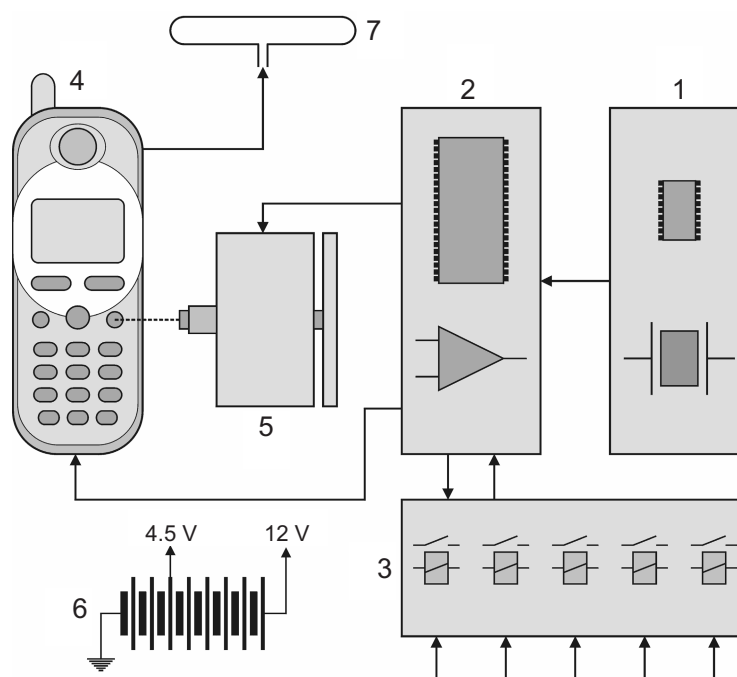
Na płycie zegara zamontowany jest 8-pozycyjny przełącznik, przy pomocy którego można ustawić czas, po jakim cykl pomiarowy powinien być powtarzany. Dostępne są nastawy: 45 minut oraz 1.5, 3, 6, 12, 24, 48 i 96 godzin. Podobny przełącznik zamontowany na płycie mikroprocesora pozwala na aktywację/dezaktywację poszczególnych wejść multipleksera.

Istotnym wymogiem urządzenia jest możliwość jego jak najdłuższej pracy przy zasilaniu baterijnym. 12-woltowy blok baterii zbudowany jest z ogniw typu „C”. Niestety, katalogi producentów baterii nie podają ich pojemności np. w amperogodzinach (Ah), tak jak dla akumulatorów. Pozycja [10], której oryginał wydano w USA w 1989 roku podaje, że alkaliczne ogniwo typu „C” przy prądzie rozładowania 10 mA wykazuje pojemność 4.5 Ah. Faktyczna pojemność bloku baterii zapewne będzie wyższa ze względu na użyte nowocześniejsze ogniwa i mniejszy średni prąd rozładowania.

Podzespołem miernika, który musi być stale zasilany jest zegar. Dlatego przy jego konstrukcji zastosowano ówczesnie możliwie dostępne energooszczędne komponenty. Uzyskano pobór prądu ok. 0.1 mA. Zatem w czasie rocznej pracy zegar zużywa około 0.88 Ah, czyli niecałe 20% pojemności baterii (wg [10]). Stałe zasilanie układów analogowych i układu mikroprocesora pobierających w stanie nieaktywnym prąd rzędu 10 mA nie jest rozsądne i dlatego układy te są włączane przez zegar tylko na czas pomiaru. Przy średnim poborze prądu 20 mA, czasie włączenia ok. 120 sekund i pomiarach przeprowadzanych raz na dobę roczne zużycie prądu wynosi niecałe 0.25 Ah, czyli ok. 5.5% pojemności baterii. Biorąc z kolei pod uwagę pojemność standardowego akumulatora telefonu (0.6 Ah) i maksymalnego jego czasu gotowości (180 godzin) [11] można wyliczyć, że telefon stale pobiera prąd min. 3.3 mA. Zatem stałe jego zasilanie też nie może mieć miejsca – ani z jego oryginalnego akumulatora, ani z bloku baterii. Oryginalny akumulator, ze względu na jego zjawisko powolnego samowyładowania, nie może też być użyty do długookresowego zasilania. Telefon włączany podczas pomiarów jak wyżej na 30 sekund przy maksymalnym poborze 400 mA [11] w ciągu roku zużywa do 1.2 Ah, czyli 27% pojemności baterii.

Włączanie i wyłączanie telefonu może być realizowane tylko przez naciśnięcie jednego z jego klawiszy. Z pewnością ingerując w jego strukturę można to też zrobić przez zdublowanie jego styków kluczem elektronicznym. Nie wydaje się jednak, że jest to rozwiązanie eleganckie i godne polecenia. Pozostaje więc tylko mechaniczne przyciskanie klawisza przy pomocy elektromagnesu. W tym celu wykonano specjalny elektromagnes o rezystancji uzwojenia 60Ω . Z 12 V zasilania pobiera on zatem 0.2 A. Włączany jest on na krótko – 2 sekundy dla włączenia telefonu i 1 sekunda dla wyłączenia. Roczny pobór prądu to tylko 0.06 Ah, czyli mniej niż 1.5% pojemności baterii.

Sumarycznie więc podczas rocznej pracy miernika bateria zostanie zużyta w około 50%. Warunek co najmniej rocznej bezobsługowej pracy jest w ten sposób spełniony ze znacznym zapasem. Dla umożliwienia zewnętrznego zasilania telefonu wykonano specjalną płytkę ze stykami instalowaną w miejsce oryginalnego akumulatora. Umieszczona na niej szeregowo dioda redukuje nieco napięcie z odczpu baterii (4.5 V) do właściwego poziomu ok. 3.6 V i zabezpiecza telefon przed zasileniem napięciem o niewłaściwej polaryzacji. Umieszczenie telefonu w metalowej obudowie wymaga zastosowania zewnętrznej anteny. Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy miernika TMS-1 uwzględniający powyższe ustalenia.



Rys. 1. Schemat blokowy telemetrycznego miernika strunowego TMS-1: 1 – zegar, 2 – układy analogowe i układ mikroprocesorowy, 3 – multiplexer wejściowy, 4 – telefon komórkowy, 5 – elektromagnes, 6 – blok baterii, 7 – antena zewnętrzna

4. Cykl pomiarowy i obsługi transmisji danych. Program mikroprocesora

Cykl pomiarowy miernika w porównaniu z cyklem urządzenia pomiarowo-transmisyjnego [5] został wzbogacony o obsługę multiplexera i kodowanie wyników pomiarowych tak, aby ich format był zgodny ze strukturą PDU. Zgodnie z nim zmodyfikowano algorytm procedury pomiarowej i program mikroprocesora. Pomiar czasu trwania 200 okresów drgań struny pomiarowej realizowany jest z rozdzielczością $4 \mu\text{s}$. Każdy wynik pomiarowy może być teoretycznie liczbą w granicach $0 \div 131071$, ale ze względu na zakres częstotliwości drgań strun pomiarowych ($650 \div 1050 \text{ Hz}$) użyteczny zakres to $47619 \div 76923$. Wartość 0 podstawiana jest w przypadku braku pomiaru (wejście multiplexera nieaktywne), a wartość $131071 \div$ wynikowi nieprawidłowego. Każdy pomiar przeprowadzany jest czterokrotnie, co daje w sumie 32 wyniki. Poszczególne wyniki kodowane są jako 3 siedmiobitowe znaki, z których każdy może reprezentować liczbę $0 \div 63$. Do pamięci zapisywane są z odpowiednimi przesunięciami, zgodnie z obowiązującą strukturą PDU.

Cykl obsługi transmisji danych po zastąpieniu radiotelefonu telefonem komórkowym musiał ulec całkowitej zmianie. Dla uproszczenia przekazywania danych do komputera zdecydowano się na wykorzystanie bramki internetowej SMS – e-mail i adresu autora niniejszego opracowania. Opracowano algorytm i nową procedurę obsługi transmisji, którą dołączono do programu mikroprocesora.

Procedura rozpoczyna się podaniem napięcia na końcówki elektromagnesu na 2 sekundy. W ten sposób telefon zostaje włączony i od razu (kod PIN jest zablokowany) przystępuje do poszukiwania połączenia ze stacją bazową. Poszukiwanie to może trwać do 10 sekund, zatem procedura rozpoczyna przekazywanie danych na wejście TxD telefonu dopiero po 15 sekundach od jego włączenia. Zgodnie z opisem w rozdziale 2 pierwsza część komendy ma postać:

```
AT+CMGS=123<cr>
```

Jak widać, w tym przypadku długość PDU wynosi 123 (+8) bajty. Po opóźnieniu 1.2 sekundy przekazywana jest stała część PDU o długości 47 bajtów zawierająca wszystkie potrzebne numery, informację że SMS jest przeznaczony poprzez bramkę SMS – e-mail dla użytkownika Internetu i jego adres. Część ta w postaci heksadecymalnej ma postać:

```
07918406010013F0115806811199990000A780A875D83D4ECBEB6B40BA7D6EC1C36E D75A  
1E5EBFEF2E383B452FCFE9
```

Natychmiast potem przekazywane są następne 84 bajty zawierające dane pomiarowe. PDU, jak i cała komenda kończy się znakiem <ctrl-z>. Po czasie 8 sekund, wystarczającym na transmisję telefon jest wyłączany (1-sekundowym zadziałaniem elektromagnesu) i mikroprocesor dokonuje samowylączenia – razem z innymi podzespołami poza zegarem.

5. Przykładowy próbny eksperyment

Aby sprawdzić prawidłowość działania miernika TMS-1 przeprowadzono kilka eksperymentów, których przebieg pozwolił na wykrycie nielicznych na szczęście błędów i niedociągnięć. Przykładowy ostatni eksperyment, którego wynik zostanie przytoczony wykonano z użyciem 2 przetworników strunowych przemieszczenia: dawnej (z roku 1970) produkcji niemieckiej firmy Maihak i przetwornika konstrukcji autora. Jako aktywne ustawiono wejścia multiplexera 1÷4. Przetwornik „Maihak” zaaretowany pośrodku jego zakresu podłączono do wejścia 3, przetwornik autora zaaretowany nieco poniżej zakresu do wejścia 2. Wejścia 1 i 4 pozostawiono wolne – pomiar dla nich powinien być błędny. Do zdekodowania informacji tekstowej przekazanej jako e-mail do komputera i wycięcia okresu drgań struny i częstotliwości sporządzono krótki program w języku Turbo Pascal. Program ten zapisuje wyniki również w postaci pliku tekstowego, tak jak w omawianym przykładzie (tabela 1). Jak widać z wyników, próbny eksperyment dowodzi, że urządzenie funkcjonuje poprawnie, zgodnie z założeniami.

6. Podsumowanie

Opracowane i wykonane urządzenie jest w pełni sprawne i spełnia wstępne założenia. Mimo, że jest prototypem, planowane jest jego użycie do pomiarów przemieszczeń i temperatury gruntu przy pomocy równobocznej rozety tensometrycznej. Rozeta ta już jest zainstalowana na terenie dawnego pola wydobywczego soli kamiennej w Łęzkowicach koło Bochni. Jak wspomniano w rozdziale 3 do budowy urządzenia wykorzystano część sprawnego, ale nienowoczesnego już i nieużywanego strunowego sytemu pomiarowego SSP-1. Dzięki temu, koszt nowych elementów do jego budowy (telefon Siemens C45, drobne elementy elektroniczne i mechaniczne) wynosi tylko ok. 200 PLN. Zaadoptowane „stare” podzespoły wymagają jednak przeprojektowania, unowocześnienia tak, aby mogły spełniać więcej funkcji. Wówczas, będzie możliwe bardziej elastyczne dostosowywanie miernika do aktualnych potrzeb pomiarowych. Koszt elementów potrzebnych do budowy dalszych urządzeń od podstaw – ok. 1200 PLN (w tym solidna metalowa obudowa – ok. 500 PLN) raczej nie ulegnie zmianie. Również koszt eksploatacji nie wydaje się być wysoki. Ze względu na wykorzystanie telefonu tylko do wysyłania SMS-ów najbardziej korzystna jest jego praca w systemie bezabonentowym „na kartę”. Koszt rocznej telekarty we wszystkich polskich sieciach komórkowych wynosi 200 PLN.

Biorąc pod uwagę przedstawione koszty konstrukcji i eksploatacji telemetrycznego miernika strunowego TMS-1 i powszechność systemu telefonii komórkowej GSM wiążącą się niemal ze 100% zasięgiem na terytorium większości krajów Europy, w tym także Polski można oczekiwać, że zaproponowane rozwiązanie znajdzie szersze, pozaprototypowe zastosowanie.

Tab. 1. Odebrane i zdekodowane wyniki próbnego eksperymentu

SMS otrzymany: Mon, 08 Nov 2004 19:15:59, z teletransmisyjnego miernika strunowego TMS-1: testUzzHu9Co1Uzz000000000000UzzHu8Co2Uzz000000000000UzzHuACo2Uzz0000000000 00UzzHuACo1Uzz000000000000 odczytane dane pomiarowe:							
lp	wynik [20ns]	okres [µs]	częstot. [Hz]	lp	wynik [20ns]	okres [µs]	częstot. [Hz]
1	131071	--pomiar błędny--		17	131071	--pomiar błędny--	
2	77449	1548.98	645.59	18	77451	1549.02	645.57
3	56577	1131.54	883.75	19	56578	1131.56	883.74
4	131071	--pomiar błędny--		20	131071	--pomiar błędny--	
5	0	--brak pomiaru		21	0	--brak pomiaru	
6	0	--brak pomiaru		22	0	--brak pomiaru	
7	0	--brak pomiaru		23	0	--brak pomiaru	
8	0	--brak pomiaru		24	0	--brak pomiaru	
9	131071	--pomiar błędny--		25	131071	--pomiar błędny--	
10	77448	1548.96	645.59	26	77451	1549.02	645.57
11	56578	1131.56	883.74	27	56577	1131.54	883.75
12	131071	--pomiar błędny--		28	131071	--pomiar błędny--	
13	0	--brak pomiaru		29	0	--brak pomiaru	
14	0	--brak pomiaru		30	0	--brak pomiaru	
15	0	--brak pomiaru		31	0	--brak pomiaru	
16	0	--brak pomiaru		32	0	--brak pomiaru	

Literatura

1. Kanciruk A., *Możliwości wykorzystania przetworników strunowych do pomiarów dynamicznych*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 5, nr 2, Kraków 2003.
2. Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L., *Some advancements in soil strain measurement methods with special reference to mining subsidence*. Min. Sci. Tech. Vol. 2, No. 4, 1985.
3. Kanciruk A., *Urządzenie do pomiaru wielkości fizycznych przy użyciu przetwornika strunowego (komunikat)*. Zeszyty Nauk. WSI w Opolu nr 203; Elektryka, z. 40, t. 1, 1994.
4. Gustkiewicz J., Kanciruk A., Stanisławski L., *The influence of pauses in longwall working on surface strains as measured by soil strain measurements devices*. Arch. Min. Scs., Vol. 48, No. 2, 2003, s. 197-218.
5. Kanciruk A., *Urządzenia do pomiaru wielkości fizycznych przy użyciu przetworników strunowych*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej seria Konferencje, z. 4, 1995, s. 235-240.
6. Hołubowicz W., Płocienniczak P., *Cyfrowe systemy telefonii komórkowej GSM 900, GSM 1800, UMTS*. Poznań 1998.
7. Muszyński R., Pawlaczyk M., *Oszczędne rozwiązanie zdalnego nadzorowania procesu za pomocą telefonu komórkowego przy użyciu SMS*. Elektronizacja 12/2003.
8. Manual reference. AT command set (GSM 07.07, GSM 07.05, Siemens specific commands) for the Siemens mobile phones S35i, C35i, M35i. www.daniel-hertrich.de
9. Hüttisch N., Kurznachrichten auf die perverse Art. list-archive.gin.cz
10. Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki*. WKŁ Warszawa 1997.
11. Siemens C35i C35. Instrukcja obsługi.

Telemetric vibrating-wire meter TMS-1

Abstract

Measurements of ground displacements are often conducted at large distances from the nearest buildings. Therefore, using there automatic measuring and data transmitting instruments can be advantageous. In this paper a new telemetric vibrating-wire meter is presented. The instrument collaborates with vibrating-wire transducers. It can perform periodically a series of measurement. The results of them are stored in a memory and then transmitted to a destination place by means of a GSM cellular telephone network. In this way, not only the construction of the instrument is inexpensive, but the using of it as well. It is battery powered and designed for long (at least one year) service-free functioning.

Keywords: metrology, electronics, telecommunication, geotechnical engineering

Recenzent: Prof. dr hab. *Jan Kielbasa*, Akademia Górniczo-Hutnicza