



CEL PRACY KONSTRUKTORA
– REALIZACJA POTRZEB UŻYTKOWNIKÓW

THE AIM OF A DESIGNER
– FULFILLING OF USER'S EXPECTATIONS

Jacek Barański

L.Instruments s.c.

Słowa kluczowe: miernictwo elektryczne, elektronika, rejestratory, ochrona katodowa
Keywords: electric measurements, electronics, loggers, anticorrosion protection

Streszczenie

Firma L.Instruments od lat dostarcza nowoczesne przyrządy do pomiarów w ochronie katodowej. Obecnie przedstawia swój kolejny miniaturowy rejestrator o wysokich walorach metrologicznych, komunikujący się m. in. z telefonami komórkowymi i tabletami, który umożliwia użytkownikowi oprócz rejestracji wielkości elektrycznych także zapis innych dowolnie wybranych wielkości fizycznych. Rejestrator zawiera cztery kanały pomiarowe, a w wersji specjalnej trzy kanały i przerywacz ułatwiający stosowanie metod wyłączeniowych. Referat przedstawia wiele innych unikalnych właściwości przyrządu.

Summary

For many years L.Instruments has been developing new measuring instruments for cathodic protection. Now a mini-logger of high metrological quality is presented, which can record not only electric but any deliberately chosen physical quantity and communicate with mobile phones and tablets. It has four measuring channels. In a special version dedicated for anticorrosion, there are three channels and an interrupter enabling application of ON/OFF methods. The paper outlines other outstanding qualities of the logger.

1. Wstęp

Przyrządy do pomiarów w ochronie antykorozyjnej przeszły drogę od laboratoryjnych wskazówkowych woltomierzy magnetoelektrycznych, poprzez przyrządy samopiszące na taśmie papierowej i piszące rejestratory x - y .

Przeszło dwadzieścia lat temu firma L.INSTRUMENTs dostarczyła pierwszy rejestrator **SCM** (1990–2001), duży i ciężki, bo miał wbudowaną drukarkę i akumulator, który ją zasilał. Komputery były wtedy rzadkością, więc przyrząd sam zapisywał zmierzone w dwóch kanałach wartości i bezpośrednio po pomiarze drukował protokół w postaci liczbowej i graficznej, jako korelację i przebiegi w czasie. Dzięki tym zaletom chętnie był używany, nawet całkiem jeszcze niedawno.

Gdy notebooki, drukarki i podobne urządzenia stały się wyposażeniem bardziej popularnym, w użycie weszły nasze pierwsze, miniaturowej serii **mR**, obsługiwane z komputera rejestratory **mR0** i **mR1** (1997–2008), znamienne nie tylko kieszonkowymi wymiarami (115*70*45), lecz także znacznym zasobem pamięci, nastawnym okresem próbkowania i możliwością pomiaru prądu stałego oraz wartości chwilowych i skutecznych prądu przemiennego. Komunikacja z komputerem (RS232, IRDA) służyła do zadawania nastaw i transmisji wyników, a program graficzny **mRgraph** umożliwiał ich analizę.

Założenia, opracowane przez wybitnego specjalistę ochrony antykorozyjnej Michała Jagiełłę i bliska z nim współpraca, doprowadziły do powstania rejestratora **mRG** do pomiarów intensywnych (2001–2009) i przerywaczy **pR** (2002-). Rejestrator **mRG**, bardzo wymagający metodologicznie, jest ciągle z powodzeniem używany, lecz ze względów technologicznych został wycofany z produkcji. Jego funkcję przejmie prawdopodobnie nowy rejestrator **mR3p**.

Rejestratory **mR0** i **mR1** zastąpił kolejny, nadal produkowany, miniaturowy dwukanałowy rejestrator **mRA** (2005-) do pomiaru – z bardzo dużą dokładnością i rozdzielczością oraz wysoką rezystancją wewnętrzną – napięć stałych i przemiennych i do pomiaru prądów o praktycznie dowolnej wartości. Nastawy są zadawane z własnej klawiatury rejestratora, a obszerna pamięć *Flash* umożliwia przeprowadzenie kilku sesji pomiarowych pod rząd bez potrzeby każdorazowego zgrywania do komputera. Dzięki graficznemu wyświetlaczowi możliwa jest bieżąca obserwacja przebiegu rejestracji i odczyt wyników w postaci liczbowej i graficznej. Komunikację z komputerem zapewnia USB i RS232.

Żyjemy w czasach wielkiego postępu technicznego w każdej dziedzinie. Rozwija się elektrochemiczna ochrona przed korozją i rosną wymagania, którym konstruktor przyrządów pomiarowych w tej dziedzinie musi sprostać. Na szczęście rozwija się również elektronika i oferuje nowe możliwości. Przystępując do kolejnego opracowania jako podstawowe założenie przyjęto, że nowy rejestrator musi zapewnić właściwości metrologiczne co najmniej, takie jak przyrządy opracowane wcześniej, jednocześnie oferując użytkownikowi znacznie więcej. Ponadto ma być na tyle uniwersalny, by znalazł zastosowanie w różnych dziedzinach nauki, techniki i gospodarki.

Z tą myślą, zachowując miniaturowe wymiary **mR0** i **mR1**, nowy rejestrator, który nadal może być umieszczony w słupku stacji pomiarowej, został opracowany w dwóch wersjach: **mR4** i **mR3p**. Jego cechą charakterystyczną są trzy lub cztery – zamiast dotychczasowych dwóch – kanały pomiarowe, całkowicie synchroniczne i całkowicie separowane między sobą galwanicznie. Oznacza to możliwość jednoczesnego pomiaru w każdym z nich nie tylko różnych wielkości elektrycznych (napięcie, prąd), ale – za pomocą standardowych czujników – dowolnych różnych wielkości fizycznych (temperatura, ciśnienie, siła itp.), które użytkow-

nik sam wpisuje do wybranego kanału, sam wybiera jednostki miary i sam określa zakresy pomiarowe. Wbudowany GPS umożliwia synchronizację z urządzeniami zewnętrznymi, zapis pozycji geograficznej i wysokości nad poziomem morza. Rejestrator może być obsługiwany nie tylko z notebooka, ale także z dobrego telefonu komórkowego lub tabletu (Android) poprzez *Bluetooth*. I jeszcze jedno dogodne rozwiązanie: wymienna karta pamięci.

Antykorozyjna wersja *mR3p* z wbudowanym przerywaczem zapewnia wymagane w metodzie wyłączeniowej przerywanie prądu ochrony, równoległe z jednoczesnym pomiarem potencjału, napięcia i prądu w dowolnie wybranych kanałach.

2. Ekran (wyświetlacz)

Na początkowym etapie pracy przyjęto założenie, że przyrząd pomiarowy zostanie wyposażony w kolorowy wyświetlacz o parametrach umożliwiających obserwację w terenie przy świetle słonecznym. W prototypie wykorzystano dwa różne kolorowe wyświetlacze OLED o rozdzielczości 240x320 punktów. Po niespełna dwóch miesiącach okazało się jednak, że są wysoce awaryjne i niedopracowane. Dostawca zawiadomił, że nie będą produkowane.

To spowodowało przededefiniowanie założeń przyrządu pomiarowego. Przyjęto, że przyrząd będzie wyposażony w łącze radiowe *Bluetooth*, a cały graficzny interfejs użytkownika zostanie wykonany nie tylko – jak dotychczas – na notebooku, lecz także na coraz bardziej popularnych zewnętrznych urządzeniach w rodzaju telefonów komórkowych i tabletów, wyposażonych w dobre kolorowe ekrany markowej produkcji.

3. Układy pomiarowe – separacja galwaniczna, kanały, zakresy

W zależności od wersji, *mR3p* lub *mR4*, przyrząd został wyposażony w trzy lub cztery analogowo-cyfrowe kanały pomiarowe separowane od siebie galwanicznie. Każdy kanał zawiera 24-bitowy energooszczędny przetwornik ADC typu Sigma-Delta. Wszystkie kanały są próbkowane synchronicznie. Krok próbkowania wynosi 120ms, co pozwala na uzyskanie 8 próbek na sekundę. Dostępne są także wolniejsze kroki: 4, 2 i 1/sek. Czas próbkowania został tak dobrany, aby uzyskać maksymalne tłumienie częstotliwości 50Hz i jej kolejnych harmonicznych, występujących w polu elektrycznym pochodzącym od sieci przemysłowych i układów zasilających. Zakresy wejściowe są zbudowane w oparciu o multiplexer analogowy, a także dzielniki, filtry i układy zabezpieczające przed przepięciem. Każdy kanał analogowy jest wyposażony w zakresy pomiarowe o następujących orientacyjnych danych technicznych:

Zakres	Rozdzielczość lepiej niż	Poziom szumów mniejszy niż	Dokładność bazowa epsza niż	Rezystancja wejściowa
± 100V	1mV	2mV	0,1%	> 10MΩ
± 10V	0,1mV	0,4mV	0,1%	> 2MΩ
± 290mV	1μV	5μV	0,1%	100kΩ
± 18mV	0.1μV	1μV	0,1%	100kΩ

Zakresy ± 290mV i ± 18mV są przeznaczone do pomiaru prądów.

Warto zwrócić specjalną uwagę na zakres $\pm 18\text{mV}$, na którym uzyskano wysokiej klasy mikrowoltomierz, pozwalający na pomiary bardzo małych sygnałów. Tak więc wybierając różne zakresy przyrząd można zamienić na cztery (trzy) woltomierze, cztery (trzy) mikrowoltomierze lub dowolne ich kombinacje. Dzięki separacji galwanicznej (ograniczenie przesłuchów międzykanałowych, zwiększenie bezpieczeństwa pomiarów), a także przez użycie niezależnych przetworników ADC uzyskano wysoką jakość wszystkich parametrów metrologicznych, tzn. liniowości zakresów, poziomu szumów, dryftów zera (wewnętrzne termoogniwa) i temperaturowych dryftów zakresów. Separacja galwaniczna daje dodatkowo wielką elastyczność w podłączeniu przyrządu do obiektu mierzonego, co jest trudne do uzyskania w wielokanałowych przyrządach ze wspólną masą analogową.

4. Przerывacz (wersja *mR3p*)

W czasie już dość zaawansowanych prac nad prototypem oznaczonym wstępnie *mR2* – na konferencji nad Zalewem Sulejowskim w 2011 r. – zasugerowano, aby w nowo powstającym przyrządzie umieścić przerывacz niezbędny do pomiarów metodami wyłączeniowymi. Był to kluczowy moment, decydujący o modernizacji dotychczasowej koncepcji i zmianie niektórych założeń. Powstała wersja *mR3p*, w której jeden z kanałów analogowych został zastąpiony przez przerывacz w postaci dwóch niezależnych, separowanych od siebie kanałów: pierwszego, wyposażonego w klucz półprzewodnikowy o zdolności wyłączeniowej do 2A i napięciu przerwy do 30V, przeznaczony do pracy w układach ochrony z anodami galwanicznymi, a drugiego zaopatrzonego w polaryzowany mikroprzełącznik o zdolności wyłączeniowej do 0,5A i napięciu przerwy także 30V. Oba kanały są zabezpieczone wewnętrznymi bezpiecznikami topikowymi, które w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości prądu przerывają obwód w kontrolowanym miejscu. Ograniczenie prądowe klucza półprzewodnikowego wynika głównie z rodzaju złącza i grubości ścieżek drukowanych. Istnieje możliwość wykonania w razie potrzeby odmiany przyrządu o dużo większej zdolności wyłączeniowej, w innej obudowie i przy użyciu innych złącz. Istniejące klucze można jednak użyć do sterowania zewnętrznymi przełącznikami elektromechanicznymi lub półprzewodnikowymi, wyłączającymi prąd ochrony katodowej większy od 2A.

5. GPS (Global Positioning System)

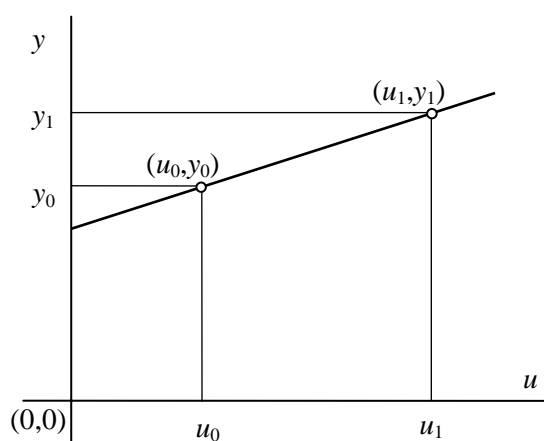
Synchronizacja jest wymagana, zwłaszcza gdy chodzi o pomiary stosowane w metodach wyłączeniowe na rozległych geograficznie rurociągach, gdzie źródło sygnału przerывanego może być odległe od miejsca pomiaru. W dotychczasowych rozwiązaniach firma L.INSTRUMENTs używała w tym celu sygnału DCF77, jednak lepszy i bardziej dokładny jest system GPS. Jego przewagą jest dużo bardziej dokładny impuls synchronizujący *1pps* (*puls per second*), ale ponad to także informacja o pozycji (długość geograficzna, szerokość geograficzna, wysokość nad poziomem morza i dodatkowo prędkość przemieszczania). W rejestratorach *mR3p* i *mR4* informacje te są zawarte w protokole NMEA-0183.

Zastosowano najnowszej generacji moduł GPS szwajcarskiej firmy „u-blox”. Impuls *1pps* wykorzystuje się do synchronizacji pomiarów i zegara RTC, a dane o pozycji mogą być zapisywane co jedną sekundę do pliku danych w postaci wybranych ramek wspomnianego już protokołu NMEA-0183. Precyzyjna synchronizacja pozwala na porównanie wyników pomiarów, wykonywanych równoległe i jednocześnie, w oddalonych od siebie stacjach pomiarowych.

6. Pomiar wielkości nieelektrycznych

W celu podniesienia funkcjonalności rejestratorów wprowadzono możliwość pomiaru innych, niekoniecznie elektrycznych, wielkości fizycznych, jak np. temperatura, ciśnienie, wilgotność, siła, natężenie oświetlenia, barwa światła itp., przez dołączanie różnego typu czujników i przetworników, które zamieniają pewną wybraną wielkość fizyczną na napięcie. W tym celu wbudowano dodatkową przetwornicę DC/DC, z której wyprowadza się napięcie 5V do zasilania czujników.

Dodatkowo w oprogramowaniu przyrządu wprowadzono system, dalej zwany kalibracją użytkownika, za pomocą którego w wybranym kanale i na wybranym zakresie można skalibrować dołączony czujnik/przetwornik tak, aby mierzona wielkość fizyczną wyświetlał w wybranej jednostce i zakresie. Kalibrację kanału wykonuje się łatwo w oparciu o równanie prostej przechodzącej przez dwa punkty układu współrzędnych, w którym na osi odciętych przedstawione jest napięcie u w wybranym zakresie, a na osi rzędnych mierzona wielkość fizyczna y .



Rys. 1. Zasada kalibracji kanału pomiarowego
 u – napięcie mierzone, y – wielkość fizyczna. Na charakterystyce punkty kalibracji

Warunkiem poprawnej pracy jest, aby charakterystyka czujnika była liniowa lub mogła być linearyzowana w wybranym przedziale pomiarowym. W procesie kalibracji wprowadza się dwa punkty (u_0, y_0) , (u_1, y_1) leżące na charakterystyce, jednostkę miary wielkości y oraz jej nazwę. Kalibrację wykonuje się w każdym kanale osobno, dzięki czemu można mierzyć nawet cztery różne wielkości fizyczne.

Rejestrując wielkości nieelektryczne można podłączyć czujniki z wyjściem napięciowym i prądowym, a także, dzięki separowanym galwanicznie kanałom, czujniki mostkowe (większość czujników ciśnienia i siły). Sygnał pobierany ze środka mostka zwykle jest także funkcją napięcia zasilającego mostek. Można także wpisać się w obwody szeroko stosowanych w przemyśle pętli prądowych 0–20 mA lub 4–20 mA do przesyłania sygnałów analogowych.

Na koniec procesu kalibracji równanie prostej przechodzącej przez dwa punkty przeliczane jest do postaci kierunkowej $y = A \cdot u + B$ i w takiej postaci brane jest do obliczeń oraz jest umieszczane w części nagłówkowej pliku zarejestrowanych danych pomiarowych.

7. Pomiar prądu

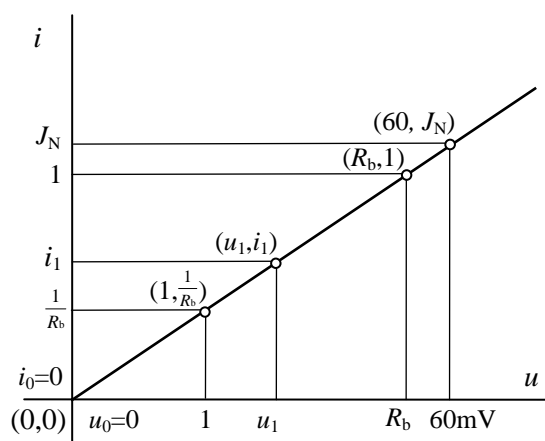
Pomiar prądu wykonuje się przez pomiar spadku napięcia na boczniku rezystancyjnym, zwykle o niedużej wartości rezystancji. W przypadku gazociągu może to być specjalnie wydzielony i przygotowany odcinek rury.

$$\text{Prąd } i = u / R_b,$$

gdzie:

- R_b – rezystancja bocznika,
- u – napięcie mierzone [mV],
- i – prąd.

Kalibracja jest jeszcze prostsza niż w przypadku czujników, ponieważ charakterystyka prądowo-napięciowa rezystora przechodzi przez początek układu współrzędnych. Punkt (u_0, i_0) ma wartość $(0,0)$, a punkt (u_1, i_1) wartość $(1, 1/R_b)$ lub $(R_b, 1)$. Do pomiaru prądu przeznaczone są zakresy miliwoltowe: 240mV lub 18mV.



Rys. 2. Kalibracja kanału do pomiaru prądu. Charakterystyka $i = f(u)$
 u – napięcie mierzone, i – prąd, R_b – rezystancja bocznika
 Na charakterystyce do wyboru punkty kalibracji

Ponieważ wartość spadku napięcia na boczniku mierzona jest w miliwoltach, to jeżeli wartość R_b jest wyrażona w miliomach [mΩ], to otrzymuje się odczyt w amperach [A]:

$$\frac{[\text{mV}]}{[\text{m}\Omega]} = [\text{A}]$$

Jeżeli R_b jest wyrażona w omach, to odczyt jest w miliamperach:

$$\frac{[\text{mV}]}{[\Omega]} = [\text{mA}]$$

Kalibrację można też wykonać za pomocą dobrej jakości amperomierza, mierząc rejestratorem spadek napięcia na boczniku, a odpowiadający mu prąd amperomierzem. Wynik należy zapisać w punkcie kalibracyjnym (u_1, i_1) . W przypadku użycia standardowych boczników o prądzie znamionowym I_n i napięciu znamionowym 60 mV można w punkcie (u_1, i_1) wsta-

wić wprost wartości ($60, I_n [A]$). Można też zmierzyć wartość rezystancji takiego bocznika metodą techniczną w celu uzyskania większej od standardowej dokładności i wstawić tę wartość według niżej opisanych zasad. Wartość zmiennoprzecinkową rezystancji można opisać nawet siedmioma cyframi dziesiętnymi.

Alternatywnym sposobem pomiaru prądu jest użycie czujnika Halla z wyjściem napięciowym. Kalibracja takiego czujnika odbywa się tak samo, jak kalibracja czujników wielkości nieelektrycznych.

8. Miernik czy rejestrator?

Jeżeli przez miernik rozumiemy przyrząd, który w czasie rzeczywistym wyświetla wyniki pomiarów, a przez rejestrator urządzenie, które zapisuje te wyniki w nieulotnej pamięci, to przyrządy **mR4** i **mR3p** mogą służyć, i jako miernik, i jako rejestrator, i jako oba na raz. Wszystko zależy od użytkownika, który wybiera nastawy. Daje to dużą elastyczność w pracy. Można więc szybko zmierzyć parametry obiektu, aby ocenić poprawność pracy, można włączyć rejestrację i pozostawić przyrząd na długi czas, można też podglądać na ekranie bieżący przebieg pomiaru. W zależności od dokonanych nastaw przyrząd rejestruje wartości analogowe w trzech/czterech kanałach, w **mR3p** stan wyjść przerywaczy, czas rzeczywisty z zegara RTC lub GPS, dodatkowe wejście/wyjście dwustanowe oraz wybrane ramki protokołu GPS NMEA-0183.

Jako miernik przyrząd może dodatkowo wyświetlać w czasie rzeczywistym cztery różne funkcje będące kombinacją arytmetyczną wejść analogowych (np. moc jako iloczyn prądu i napięcia) oraz ich całki wyskalowane w jednostko-godzinach, np. energię w [mWh, Wh] lub ładunek w [mAh, Ah]. Dalej przykładowo iloraz napięcia i prądu wyświetla informację o rezystancji zewnętrznej mierzonej metodą techniczną.

Wszystkie obliczenia wykonywane i wyświetlane w czasie rzeczywistym, można również wykonać później na zapamiętanych danych pomiarowych.

9. Nastawy

Przyrząd można nastawiać z interfejsu użytkownika poprzez łącze *Bluetooth*, Wartości nastawiane to:

- krok próbkowania,
- zakresy (w każdym kanale osobno),
- czas rejestracji,
- sposób startu rejestracji,
- zawartość strumienia danych do zapamiętania (dane pomiarowe lub/i dane z GPS),
- zawartość strumienia danych do bieżącego wyświetlenia,
- czas cyklu i czas przerwy przerywaczy (**mR3p**),
- czas letni/zimowy + strefa czasowa do poprawnej synchronizacji zegara RTC z GPS,
- czas RTC,
- kalibracja użytkownika (dla każdego kanału osobno),
- wybór funkcji pomiarowych.

Nastawy przechowuje się we wtyczce inteligentnej lub w pliku MR.INI.

Po resecie rejestrator najpierw pobiera samoczynnie nastawy domyślne. Następnie poszukuje obecności wtyczki inteligentnej. Jeżeli takową znajdzie, z niej pobiera nastawy. Następnie sprawdza, czy na karcie MikroSD znajduje się plik MR.INI. Jeżeli stwierdzi jego obecność, to z niego nadpisywane są nastawy jako mające wyższy priorytet. Kolejne nastawy, pochodzące z interfejsu użytkownika, mają priorytet najwyższy. Te nastawy można zawsze zmienić i wpisać je do wtyczki inteligentnej lub do pliku MR.INI. W przypadku obecności wtyczki inteligentnej nastawy z pliku MR.INI nie są konieczne.

10. Wtyczka inteligentna uniwersalna

Wszystkie sygnały z rejestratora wyprowadzone są na 25-pinowe złącze DSUB, co stwarza możliwość różnych kombinacji połączeń. Każdy kanał jest wyprowadzony na cztery piny ($\pm 100V$, $\pm 10V$, na wspólnym pinie 240mV i 18mV, masa analogowa). Ponadto szereg wyprowadzeń jest związanych potencjałowo z masą cyfrową (masa procesora). Stąd pochodzi koncepcja wtyczki inteligentnej, która dla konkretnego zastosowania lub konkretnego połączenia czujników zawiera wszystkie niezbędne nastawy i właściwą kalibrację. Używając do różnych zastosowań lub metod pomiarowych różnych wtyczek, można natychmiast i w bardzo prosty sposób poprzez ich wymianę przeprogramować rejestrator. Można dzięki temu powierzyć zaprogramowany, okablowany i przetestowany rejestrator personelowi o niższym szczeblu kompetencji, który następnie wykona pomiar. W ciężkich warunkach terenowych łatwiej w ten sposób uniknąć błędów, nawet przy najwyższych kwalifikacjach.

Inteligentna wtyczka zbudowana jest w oparciu o zaimplementowany interfejs *Iwire* i dołączony do niego EEPROM (nieulotna pamięć). Interfejs *Iwire* wykorzystuje tylko jeden pin z 25-pinowego złącza DSUB. Ścieżką powrotną jest masa cyfrowa służąca także do zewnętrznego zasilania przyrządu.

11. Wtyczka dedykowana

Wtyczka dedykowana może powstać na konkretne zamówienie klienta. Może zawierać zoptymalizowaną ilość zacisków pomiarowych, a także niestandardowe czujniki/przetworniki zaprojektowane do konkretnych potrzeb, np. przetworniki napięcia *trms* dla pomiaru przebiegów prądu przemiennoprądowych (a.c.).

12. Nowe elementy i podzespoły – oszczędzanie energii, zasilanie

Rejestrator jest zbudowany w oparciu o najnowsze elementy elektroniczne. Użyto w nim mikroprocesora ARM Cortex M3 drugiej generacji, który pojawił się na rynku już po rozpoczęciu pracy nad prototypem rejestratora w wersji *mR2*. Zastosowano go, ponieważ nowa technologia pozwala na znacznie mniejsze zużycie energii w przeliczeniu na 1MHz niż w procesorze generacji poprzedniej. Użyto też najnowszej generacji modułów GPS i *Bluetooth*. Przyrząd w przedstawionej postaci nie mógłby powstać bez najnowszych tranzystorów MOSFET o niskich napięciach sterowania bramek. Dzięki tym tranzystorom można programowo, z poziomu interfejsu użytkownika lub poprzez nastawy, odłączać bloki *hardware*'owe od zasilania w celu optymalizacji zużycia energii i pracować w ten sposób przy odłączonych modułach GPS lub/i *Bluetooth*.

Przyrząd jest zasilany z dwóch akumulatorów AA 1,2V lub ze źródła zewnętrznego o napięciu 6V i posiada wbudowany układ ładowania. Zasilany z akumulatorów powinien przy

pełnym obciążeniu pracować co najmniej 10 godzin, a przy wyłączonym GPS i *Bluetooth* ponad dobę. Przy zasilaniu zewnętrznym czas pracy jest nieograniczony.

13. System plików, USB-klasa „Mass Storage”

Dane są zapamiętywane na wymiennej karcie pamięci typu „Mikro SD”, na której zaimplementowany jest system plików FAT32. Przetestowano z powodzeniem karty o pojemnościach od 512MB do 4GB. Są to tak duże pojemności, że trudno je zapisać nawet podczas wielodniowej rejestracji z największą prędkością próbkowania. Kartę wkłada się przez przedział akumulatorów (po ich wyjęciu). Pliki danych tworzą się same w chwili rozpoczęcia rejestracji, a nazwy są im nadawane automatycznie jako zapisana w kodzie hex liczba sekund od początku XXI wieku. Nazwa ma rozszerzenie „*.mr”.

Pliki po rejestracji mogą być dostępne z poziomu interfejsu użytkownika. Jednakże ze względu na dość ograniczoną prędkość transmisji łącza *Bluetooth*, wbudowano także łącze USB z zaimplementowaną klasą „Mass Storage”. Z łącza USB można korzystać po zakończeniu pomiarów. Dokonanie połączenia kablowego rejestratora z komputerem PC powoduje ponowne jego załączenie i stanowi, że rejestrator z poziomu komputera widziany jest jako dysk wymienny.

14. Sygnały związane potencjałowo z masą procesora

Na złączu DSUB (płytką czołową przyrządu) dziewięć pinów jest związanych potencjałowo z masą procesora. Są to: masa cyfrowa, wejście napięcia zasilania 6V, wyjście napięcia zasilania czujników 5V, dwa zaciski związane z załączaniem (montowana zworka lub przełącznik), interfejs *Iwire*, jedno uniwersalne wejście-wyjście, do którego można łatwo dołączyć styk przekaźnika lub przycisku oraz dwa piny rozszerzeń.

Na pinach rozszerzeń na życzenie klienta może być zaimplementowany zamiennie interfejs I2C do dodatkowych czujników lub RS485 do komunikacji.

W wersji standardowej przewiduje się użycie tych pinów jako wejść standardowych lub licznikowych. Licznik może być wykorzystany jako zliczający w górę lub rewersyjny. W połączeniu z zewnętrznymi układami pomiarowymi można zaimplementować i wyskalować np. pomiar długości w [m, km, ...] lub pomiar przepływu w [litrach, m³, ...].

15. Bezpieczeństwo pracy

Przyrządy *mR4* i *mR3p* są przeznaczone do pomiarów niskonapięciowych. Zakłada się, że za pomocą tych przyrządów pomiary będą wykonywane na obiektach, w których różnica napięć nie przekracza 100V.

Przyrządy posiadają odpowiednio pięć lub sześć odseparowanych galwanicznie wewnętrznych obwodów. Są to cztery (*mR4*) lub trzy (*mR3p*) kanały analogowe, dwa obwody przerywające (*mR3p*) i obwód związany potencjałowo z procesorem.

Napięcie izolacji między tymi obwodami jest poddawane próbie 500V. Obwody analogowe są zabezpieczone przeciwko przekroczeniu zakresu (zakresy $\pm 100V$, $\pm 10V$ do 150V, zakres 240mV i 18mV do 40V). Obwody związane z masą procesora są zabezpieczone zgodnie z wymogami kompatybilności elektromagnetycznej przeciwko wyładowaniom elektrostatycznym za pomocą diod transil.

Obwody przerywające, jak wcześniej wspomniano, są zabezpieczone prądowo bezpiecznikami topikowymi i przeciwprzepięciowo diodami transil o napięciu 33V. W czasie korzystania z przyrządu należy zachować ogólne zasady BHP obowiązujące podczas pracy przy urządzeniach elektrycznych oraz nie przekraczać absolutnych dopuszczalnych parametrów dla obwodów wejściowych podanych w danych katalogowych.

16. Podsumowanie

Przedstawione przyrządy wychodzą naprzeciw oczekiwaniom wytrawnych użytkowników sprzętu pomiarowego, zarówno gdy chodzi o badania wymagające najwyższych kwalifikacji, jak i rutynowe działania dnia powszedniego. Powinny przydać się w laboratorium i w terenie. Ich wysokie parametry zachęcają do podejmowania zadań dotychczas niemożliwych, dziś być może jeszcze trudnych do wyobrażenia, w miejscach niedostępnych i w skali niespotykanej. Pozostaje wyrazić nadzieję, że w rękach twórców nowych metod badawczych odegrają rolę wartościowego narzędzi i przyczynią się do pogłębienia znajomości procesów fizycznych, rozwoju techniki i nauki.