

Janusz TOKARSKI

## STAN AKTUALNY I PERSPEKTYWY ROZWOJU MIKROPROCESOROWEJ APARATURY POMIAROWEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono stan aktualny oraz perspektywy rozwoju aparatury pomiarowej wykorzystującej w procesie pomiarowym technikę mikroprocesorową. Określono właściwości metrologiczne tego typu aparatury, jak również funkcjonalność i walory użytkowe aparatury kontrolno-pomiarowej w mikroprocesorowym systemie pomiarowym.

## CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF MICROPROCESSOR MEASURING INSTRUMENTS

**Summary.** In the paper, the current state and development of measuring instruments using the microprocessor technique have been presented. The metrological properties, as well as the functionality and utility of this kind of instruments applied in microprocessor measuring systems have also been described.

## АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ АППАРАТУРЫ

**Резюме.** В работе представлены актуальное состояние и перспективы развития измерительной аппаратуры, использующей в измерительном процессе микропроцессорную технику. Определены метрологические свойства аппаратуры этого типа, как и функциональная способность и эксплуатационные качества измерительно-контрольной аппаратуры используемой в микропроцессорной измерительной системе.

### 1. Wprowadzenie

Technika pomiarowa jest dziedziną, w której mikroprocesor już od momentu powstania spowodował istotny przełom. Znaczenie tego przełomu spotęgował fakt gwałtownego rozwoju innych, nie związanych bezpośrednio z techniką mikroprocesorową dziedzin elektroniki. Chodzi tu przede wszystkim o ogromną bazę scalonych elementów elektronicznych wysokiej skali inte-

gracji, spełniających podstawowe zadania w aparaturze pomiarowej, takich jak:

- programowane wzmacniacze instrumentalne,
- dokładne i szybkie przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe,
- wysokostabilne źródła napięcia i prądu,
- dokładne układy próbkująco-pamiętające,
- szybkie klucze analogowe i komparatory.

Wpływ stosowania mikroprocesorów w technice pomiarowej najwyraźniej zaznacza się w zakresie:

- doskonalenia konstrukcji aparatury pomiarowej,
- doskonalenia metod pomiarowych,
- organizacji złożonych zadań pomiarowych [4, ó, 13].

## 2. Konstrukcja mikroprocesorowej aparatury pomiarowej

Zastosowanie systemu mikroprocesorowego w przyrządzie pomiarowym wiąże się nie tylko z oczywistymi uproszczeniami, jakie zwykle osiągane są dzięki użyciu doskonalszych podzespołów elektronicznych. Wpływ mikroprocesora jest o wiele większy i obejmuje:

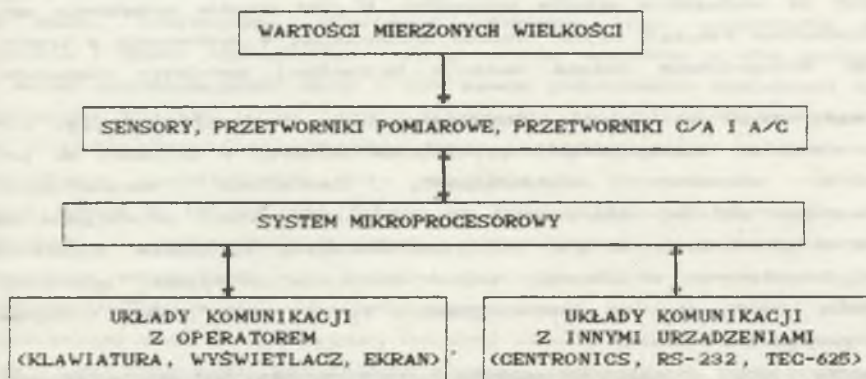
- proces opracowania przyrządu,
- metody uruchamiania, diagnostyki i serwisu,
- właściwości metrologiczne i użytkowe,
- koszt przyrządu.

### 2.1. Proces opracowania przyrządu

Realizacja programowa funkcji realizowanych dotychczas w sposób sprzętowy umożliwia eliminację wielu rozbudowanych układów analogowych. Kilka lub kilkanaście układów dużej skali integracji, tworzących system mikroprocesorowy, zastępuje dużą liczbę cyfrowych układów scalonych. W rezultacie opracowany przyrząd składa się ze zdecydowanie mniejszej liczby elementów i z reguły ma prostszą, bardziej przejrzystą i powtarzalną strukturę (rys. 1).

Powoduje to znaczne obniżenie pracochłonności opracowania części układowej przyrządu, szczególnie w przypadku gdy przyrząd jest elementem większej rodziny lub jeśli stanowi modyfikację istniejącego opracowania oraz umożliwia unifikację powtarzających się w wielu urządzeniach podukładów. Nowym i coraz bardziej pracochłonnym elementem procesu opracowania mikro-

procesorowego przyrządu jest jego oprogramowanie. Stale wzrastająca złożoność funkcjonalna przyrządów powoduje ciągły wzrost udziału prac związanych z oprogramowaniem, w odniesieniu do pracochłonności opracowań układowych, pomimo doskonalenia metod i narzędzi wspomagających tworzenie oprogramowania [1, 10]. Na uwagę zasługuje łatwość modyfikacji i ulepszeń już opracowanych urządzeń mikroprocesorowych, o ile wprowadzane zmiany dotyczą jedynie modyfikacji oprogramowania.



Rys.1. Struktura typowego mikroprocesorowego przyrządu pomiarowego  
Fig.1. Structure of a typical microprocessor measuring instrument

## 2.2. Uruchamianie, diagnostyka i serwis

Proces uruchamiania, diagnostyka i serwis mikroprocesorowej aparatury pomiarowej wymagają, podobnie jak w przypadku innych urządzeń zawierających mikroprocesory, wyspecjalizowanych do tego celu narzędzi: emulatorów układowych, analizatorów stanów logicznych, odpowiednio oprogramowanych komputerów [1, 9]. Niezbędne są również tradycyjne urządzenia pomiarowe stosowane do uruchamiania klasycznego sprzętu elektronicznego: woltomierze, amperomierze, oscyloskopy, generatory, testery. Wysoki koszt niezbędnej aparatury uruchomieniowej stanowi ciągle jeszcze niewątpliwą barierę hamującą proces tworzenia nowej mikroprocesorowej aparatury kontrolno-pomiarowej i wdrażania jej do produkcji.

Z zagadnieniem diagnostyki i serwisu wiąże się problem niezawodności. Niezawodność urządzenia elektronicznego zależy w głównej mierze od ilości zastosowanych elementów, minimalnie natomiast od stopnia ich złożoności (dotyczy to szczególnie układów scalonych). W tym świetle urządzenia mikroprocesorowe wykazują zwykle większą niezawodność w porównaniu z tradycyjnymi. Mikroprocesor ułatwia redukcję najbardziej zawodnych elementów przyrządu, jakimi są elementy elektromechaniczne. Starzenie się tego rodzaju elementów następuje nieproporcjonalnie szybciej w stosunku do pozostałych elementów elektronicznych. Zastąpienie mechanicznych przełączników cyfrowo sterowanymi kluczami analogowymi, potencjometrów mnożącymi przetwornikami c/a, elektromechanicznych wskaźników cyfrowymi polami odczytowymi, w znaczący sposób zmniejsza awaryjność aparatury. Umożliwia budowę urządzeń "bezawaryjnych", zawierających prawie wyłącznie niezuzywające się elementy.

Bardzo ważnym aspektem stosowania mikroprocesorów jest możliwość programowego autotestowania, a nawet autoserwisu [3, 10, 11, 12]. Autotestowanie polega na programowym, okresowym sprawdzaniu prawidłowości działania wybranych, najbardziej wrażliwych podukładów przyrządu. Umożliwia sygnalizację wszelkich nieprawidłowości i wyklucza przeprowadzenie pomiaru niesprawnym przyrządem. Automatyczny serwis polega na przyłączeniu badanego urządzenia łąkami telefonicznymi do centralnego systemu serwisowego, przekazującego programy testowe i odbierającego odpowiedzi. Wynikiem



diagnozy są zakłócenia serwisowe dla użytkownika [10]. Główną przyczyną niewielkiego jak na razie rozpowszechniania automatycznego serwisu są jego wysokie koszty.

### 2.3. Właściwości metrologiczne i użytkowe

Do podstawowych zadań przyrządu pomiarowego należy:

- wykonanie pomiaru,
- przetworzenie surowych wyników,
- komunikacja z operatorem,
- komunikacja z innymi urządzeniami.

O właściwościach metrologicznych przyrządu decyduje sposób przeprowadzenia pomiaru i jego dokładność. Sposób realizacji pozostałych zadań rzuca przede wszystkim na walory użytkowe przyrządu. Dokładność pomiaru uzależniona jest od wielu czynników. Niektóre z nich związane są z przyjętym rozwiązaniem toru pomiarowego przyrządu: z jego stałością w funkcji czasu, temperatury, wilgotności, ciśnienia, jego odpornością na zakłócenia i szumy. Wykorzystanie mikroprocesora umożliwia prostą realizację metod minimalizujących błędy i tym samym podwyższenie dokładności lub zmniejszenie wymagań co do jakości podzespołów elektronicznych zastosowanych w torze pomiarowym przyrządu. Typowym przykładem jest automatyczna identyfikacja charakterystyki toru przetwarzania poprzedzająca właściwy pomiar. Polega on na pomiarze jednego lub kilku wejściowych sygnałów referencyjnych, w zależności od rzędu charakterystyki przetwarzania [2]. Szczególnym przypadkiem jest badanie odpowiedzi układu na zerowy sygnał wejściowy (autozerowanie). Odpowiedzi zapamiętane w pamięci systemu mikroprocesorowego służą do późniejszej cyfrowej korekty wyników. W pomiarach o bardzo dużej dokładności rozbudowane algorytmy identyfikacji toru przetwarzania pozwalają na zredukowanie do niezbędnego minimum liczby referencyjnych elementów i obniżenie kosztów materiałowych. Przedstawiona metoda skutecznie eliminuje zakłócenia wolnozmiennie (temperaturowe, starzeniowe), powodujące niestaość toru przetwarzania w czasie wielokrotnie dłuższym od czasu identyfikacji i pomiaru. W przyrządach mikroprocesorowych istnieją również zdecydowanie większe możliwości eliminacji zakłóceń typu szybkozmiennego (stochastycznych i okresowych), poprzez cyfrowe uśrednianie większej liczby pomiarów, selekcję wyników itp. System mikroprocesorowy pozwala na rozbudowę algorytmu pomiaru, ograniczoną jedynie uwarunkowaniami zewnętrznymi (na przykład maksymalnym czasem pomiaru). Stwarza to nowe, nieosiągalne w konwencjonalnych przyrządach możliwości, na przykład:

- zastosowanie dokładniejszej metody pomiaru,
- uproszczenie konstrukcji czujnika pomiarowego,
- pomiar wartości wielkości wpływowych w celu wprowadzenia korekt.

Numeryczne przetwarzanie surowych wyników pomiaru jest właściwością charakterystyczną dla mikroprocesorowych przyrządów, której z reguły nie mają inne przyrządy [17]. Najczęściej cyfrowe obliczenia wykorzystuje się w przypadku:

- linearyzacji charakterystyk czujników pomiarowych,
- wyznaczania wartości mierzonych w sposób pośredni,
- określenia parametrów statystycznych badanego procesu,
- analizy czasowej lub częstotliwościowej sygnałów,
- wyznaczania współczynników korekcyjnych, poprawek itp.

Numeryczne przetwarzanie daje możliwości ograniczone jedynie szybkością działania mikroprocesora, przy czym szeroka gama dostępnych procesorów 8-, 16- i 32-bitowych, o różnych częstotliwościach zegara, o różnych listach instrukcji arytmetycznych, umożliwia w znacznym stopniu dopasowanie typu procesora do wymaganego zadania obliczeniowego. W koniecznych przypadkach możliwe jest wykorzystanie koprocatora arytmetycznego lub rozłożenie wykonywanych zadań na kilka współpracujących procesorów. Istnieją również szerokie możliwości skracania czasu obliczeń przez odpowiednio opracowane oprogramowanie. Redukcja czasochłonnych pętli programowych, zapamiętywanie wyników często powtarzających się elementarnych operacji matematycznych, stabilizowanie funkcji matematycznych, to typowe programowe metody skrócenia czasu obliczeń. Programy tak przygotowane są z reguły dłuższe i wymagają większej pojemności pamięci trwałej. Nie stanowi to jednak w chwili obecnej problemu, ponieważ przemysł podzespołów elektronicznych oferuje reprogramowalne pamięci trwałe o pojemnościach do 4 Mb w jednym układzie scalonym i o stosunkowo niewysokich cenach.

Wyposażenie przyrządu w system mikroprocesorowy umożliwia zwielokrotnienie realizowanych przez niego funkcji [7]. Przykładowo, oscyloskop oprócz funkcji standardowych może określić i wyświetlić w postaci cyfrowej wybrane przez operatora interwały czasowe, różnice napięć, wartość średnią, skuteczną, stosunki amplitud, porównywać zarejestrowane sygnały itp. [14]. W tej sytuacji bardzo istotnego znaczenia nabiera zagadnienie komunikacji operatora z przyrządem pomiarowym. W klasycznym przyrządzie zwiększenie ilości realizowanych funkcji związane jest z istotną rozbudową płyty czołowej, zwiększeniem liczby pokręteł, nastaw, przełączników, wskaźników, wyświetlaczy itp. Powoduje to, że obsługa przyrządu staje się bardzo skomplikowana, odczyt wyników znacznie utrudniony, a pełna kontrola prawidłowości nastaw praktycznie niemożliwa. System mikroprocesorowy stwarza zupełnie nowe możliwości, ułatwiające w znaczący sposób komunikację operatora z przyrządem. Do najbardziej charakterystycznych cech komunikacji z przyrządem mikroprocesorowym należą:

- standaryzacja płyty czołowej,

- zastąpienie pokręteł i przełączników numeryczną klawiaturą, umożliwiającą sterowanie, wybór funkcji i wprowadzenie nastaw w postaci cyfrowej,
- zwiększenie czytelności przekazywanych operatorowi informacji przez zastosowanie ekranu elektroluminescencyjnego lub ciekłokrystalicznego, umożliwiającego wyświetlanie ciągu znaków alfanumerycznych, napisów, wykresów itp.,
- duże podobieństwo do metod komunikowania się z komputerem (na przykład w trybie konwersacji),
- przedstawienie wyników w dogodnej dla operatora postaci, nie wymagającej dalszych przeliczeń, w wybranym formacie i jednostkach, umożliwiającej szybkie przesledzenie długotrwałego procesu itp.,
- sygnalizacja wizualna lub akustyczna wskazanych przez operatora sytuacji (na przykład osiągnięcie przez mierzoną wielkość wartości żądanej, maksymalnej lub minimalnej, przekroczenie zakresu pomiarowego itp.),
- sygnalizacja wszelkich sytuacji awaryjnych (na przykład brak lub uszkodzenie czujnika pomiarowego, przerwa w zasilaniu, błąd transmisji itp.),
- automatyczna realizacja procedur nie wymagających ingerencji operatora,
- możliwość zapamiętania często powtarzających się nastaw,
- możliwość zapamiętania lub zarejestrowania serii wyników.

Bardzo ważnym elementem określającym funkcjonalność i walory użytkowe przyrządów jest zdolność komunikacji z innymi urządzeniami, ponieważ stwarza ona możliwość automatyzacji zestawów aparatury pomiarowej oraz prostej organizacji systemów pomiarowych. W urządzeniach nie zawierających systemu mikroprocesorowego zdolność ta jest z reguły niewielka. W najlepszym przypadku możliwe jest bierne przesłanie wyniku pomiaru w postaci cyfrowej, w kodzie BCD lub w postaci przetworzonego sygnału analogowego, prądowego lub napięciowego, proporcjonalnego do wartości mierzonej wielkości. Praktycznie tylko system mikroprocesorowy umożliwia obsługę interfejsu o stopniu organizacji umożliwiającym pełną komunikację z innymi urządzeniami, zdalne sterowanie i transmisję wyników. Najbardziej popularne w sprzęcie pomiarowym są: łącze szeregowo RS-232 [16] oraz wprowadzony w 1974 roku przez firmę Hewlett-Packard interfejs dla automatycznych systemów kontrolno-pomiarowych pod nazwą HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus) [5], [16]. Na jego podstawie została opracowana, obowiązująca, międzynarodowa norma znana w USA jako IEEE-488, a w Europie jako IEC-625 (polska norma PN-83/T-06536). Obie normy są identyczne z wyjątkiem stosowanych łącz.

Interfejs szeregowy RS-232 jest tańszym i prostszym rozwiązaniem zapewniającym dwukierunkową wymianę informacji. Niewielka ilość wymaganych połączeń ułatwia zapewnienie izolacji galwanicznej. Standardowe wyposażenie większości komputerów w porty szeregowo umożliwia łączenie



prosty system pomiarowy bez dodatkowych zmian i kosztów. Główną wadą łącza szeregowego jest stosunkowo niewielka szybkość transmisji, co nabiera szczególnego znaczenia w przypadku łączenia większej liczby urządzeń. Wady tej pozbawiony jest interfejs IEC-625. Umożliwia on:

- szybką wymianę informacji sterujących i pomiarowych (do 250 kB/s),
- łatwe łączenie wielu urządzeń pomiarowych (maksimum 14) z urządzeniem kontrolnym w zautomatyzowany system kontrolno-pomiarowy,
- zdalne, scentralizowane sterowanie działaniem przyrządów połączonych magistralą interfejsu, bez konieczności ich bezpośredniej obsługi,
- łatwą zmianę konfiguracji systemu pomiarowego,
- łatwe oprogramowanie systemu dla określonego zadania pomiarowego [8].

Przedstawione zalety są powodem stale rosnącego zapotrzebowania na przyrządy wyposażone w interfejs IEC-625 lub RS-232. Stanowi to niewątpliwie dodatkowy czynnik sprzyjający instalowaniu mikroprocesorowych systemów w aparaturze kontrolno-pomiarowej.

#### 2.4. Koszt przyrządu

Ocena ekonomicznych korzyści zainstalowania systemu mikroprocesorowego w przyrządzie pomiarowym jest bardzo trudna, ponieważ składowe finalnego kosztu wykazują często przeciwstawne tendencje:

- wzrastają koszty opracowania konstrukcji wynikające z konieczności rozwinięcia prac nad oprogramowaniem,
- wzrastają koszty uruchamiania, wymagającego drogiej, specjalistycznej aparatury,
- maleją koszty materiałowe i koszty montażu ze względu na mniejszą liczbę podzespołów elektronicznych,
- maleją koszty serwisu dzięki większej niezawodności urządzenia.

Na tendencje te nakładają się inne czynniki utrudniające porównanie kosztów, na przykład liczebność wyprodukowanej serii przyrządów lub stale malejące ceny układów scalonych wielkiej skali integracji. Niewątpliwym natomiast jest fakt, że przy porównywalnych kosztach zastosowanie mikroprocesora gwarantuje o wiele lepsze właściwości metrologiczne i użytkowe przyrządu pomiarowego oraz tanszą i wygodniejszą eksploatację.



### 3 Perspektywy rozwoju

W zakresie przyrządów pomiarowych w ogóle i mikroprocesorowych przyrządów w szczególności można zauważyć pewne charakterystyczne tendencje:

- stały wzrost udziału urządzeń mikroprocesorowych w ogólnej liczbie urządzeń pomiarowo-kontrolnych,
- dużą popularność systemów mikroprocesorowych o najprostszej konstrukcji, na przykład w postaci mikrokomputerów jednoukładowych (I 8051) lub kilkuelementowych systemów 8-bitowych (Z-80, 8085, 6500),
- stosunkowo niewielkie zainteresowanie złożonymi systemami 16- i 32-bitowymi,
- rosnący udział aparatury zawierającej systemy mikroprocesorowe wykonane w technologii CMOS, o małym poborze mocy,
- pojawienie się mikroprocesorów i mikrokomputerów jednoukładowych w przenośnym sprzęcie zasilanym bateryjnie [18],
- stosowanie wspomaganie mikroprocesorowego w coraz prostszych przyrządach [15], [18],
- coraz powszechniejsze wyposażenie przyrządów w interfejs IEC-625 lub inny umożliwiające komunikację z komputerem lub innymi urządzeniami.

### 4 Podsumowanie

Przedstawione zalety mikroprocesorowych przyrządów pomiarowych oraz tendencje dalszego, szybkiego rozwoju tej klasy urządzeń, wskazują na pilną potrzebę kontynuowania prac obejmujących aplikacje techniki mikroprocesorowej w sprzęcie pomiarowym. Dotyczy to szczególnie:

- projektowania i uruchamiania systemów mikroprocesorowych,
- łączenia systemów mikroprocesorowych z układami pomiarowymi,
- zagadnień technicznych stosowania 8-bitowych mikroprocesorów (np. Z-80) i mikrokomputerów jednoukładowych (np. I 8048 i I 8051),
- problemów komunikacji z operatorem, komputerem i innymi urządzeniami

### LITERATURA

- [1] Badzmirowski K., Piętkos J., Piestrzyński W.: Systemy mikroprocesorowe. WNT, Warszawa 1981.
- [2] Bruel and Kjaer: Indoor Climate Analyzer Type 1213. Dokumentacja techniczna Dania 1985.

- [3] Chonski M.: Metody samotestowania parametrów funkcjonalnych systemów mikroprocesorowych. Systemy mikroprocesorowe, z. 13, PIE, Warszawa 1983.
- [4] Finkelstein L., Hofmann D.: Intelligent measurement. Measurement 4/1987.
- [5] Goczyński B., Górnicki T.: Interfejs IEC-625 dla mikrokomputerów Mazovia 1016 i IBM PC XT/AT. Systemy mikroprocesorowe, z. 29, Warszawa 1986.
- [6] Howell S.K., Hamilton T.D.S.: Intelligent instrumentation. Measurement Science and Technology 12/1990.
- [7] Howell S.K., Hamilton T.D.S., Turlon B.C.H.: A system of autonomous intelligent voltage suppliers. Measurement Science and Technology 1/1990.
- [8] Jackiewicz B.: Zastosowanie komputerów osobistych do sterowania systemami pomiarowo-kontrolnymi. Systemy mikroprocesorowe, z. 29, Warszawa 1988.
- [9] Jura J., Sakoł J.: Uniwersalny emulator dla mikroprocesorów 8-bitowych. Systemy mikroprocesorowe, z. 18, Warszawa 1985.
- [10] Kern J.: Zastosowanie mikroprocesorów w technice pomiarowej. Systemy mikroprocesorowe, z. 2, PIE, Warszawa 1980.
- [11] Kubis M.A.: Autodiagnostyka systemów mikroprocesorowych. Systemy mikroprocesorowe, z. 28, Warszawa 1988.
- [12] Melanowski A., Walach A.: Autodiagnostyka testera układów mikroprocesorowych. Systemy mikroprocesorowe, z. 30, Warszawa 1988.
- [13] Praca zbiorowa: Modułowe systemy mikroprocesorowe. WNT, Warszawa 1984.
- [14] Tektronix: Tektronix 1990 catalog. USA 1989.
- [15] Therm: Psychrometr elektroniczny THERM 2246.. Karta katalogowa, RFN 1988.
- [16] Tietze U., Schenk Ch.: Układy półprzewodnikowe. WNT, Warszawa 1987.
- [17] Tuszyński M., Wojtkiewicz A.: Przetwarzanie sygnałów dyskretnych za pomocą cyfrowych układów wielkiej skali integracji. Systemy mikroprocesorowe, z. 10, PIE, Warszawa 1982.
- [18] Witratemp: Microcomputer pH-Meter LEC 60 für pH, mV und °C. Materiały informacyjne. RFN 1988.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Leszek Kiełtyka

Wpłynęło do Redakcji dnia 2 grudnia 1991 r.

## CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF MICROPROCESSOR MEASURING INSTRUMENTS

### Abstract

A paper contains a discussion of the effect of using microprocessor technique on the current state and development of measuring instruments. In the paper, a typical structure of a microprocessor measuring instrument (Fig.1) is reported. The part which the microprocessor technique plays in the elaboration process of measuring instruments (2.1), both in the limiting of labour-consumption in hardware development, and the increasing of labour consumption related to creating software, are discussed. The starting, diagnostics, and service processes of the microprocessor-aided measuring instruments are discussed (2.2). The new, metrological and utilization properties of a microprocessor-aided instrument in confrontation with conventional instruments are described (2.3). The development, production, exploitation and service costs (2.4) are also discussed.