

PROBLEMY AUTOMATYZACJI CZYNNOCI POMIAROWYCH
W BADANIACH I TECHNOLOGIACH
WYSTĘPUJĄCYCH NA TERENIE CNPME

WSTĘP

Ostatnie sześć lat pracy CNPME cechuje znaczny rozwój nowych technik pomiarowo-kontrolnych i badawczych służących określeniu właściwości materiałów dla potrzeb elektroniki, szczególnie mikroelektroniki. Towarzyszy temu znaczny wzrost ilości aparatury i sprzętu, jaki został wprowadzony do eksploatacji na terenie CNPME.

W latach tych uwagę specjalistów absorbowała głównie metodyczna strona pomiarów i badań, której celem było uzyskanie rzetelnych informacji o badanym obiekcie. W związku z tym dominowały takie problemy jak:

- przetworzenie danych teoretycznych i eksperymentalnych w wielkości rzeczywiste charakteryzujące cechy jakościowe materiału lub produktu,
- dokładność pomiarów,
- dobór odpowiednich narzędzi do wykonywania pomiarów.

Równoległe towarzyszyło temu znaczne rozszerzenie asortymentu i ilości materiałów oraz produktów, dla których należało określać cechy jakościowe. Naturalną konsekwencją tych zjawisk jest nowy zbiór problemów nie mających już cech lokalnych danego laboratorium:

- liczba pomiarów,
- wydajność pomiarowa urządzenia,
- czas pomiarów i badań,
- zwiększony stopień skomplikowania metod badań i pomiarów oraz obróbki analitycznej wielkości mierzonych.

W tym celu z inicjatywy Zakładu Metodyki i Aparatury Badawczej /Z-21/ spowodowano, że poznanie problemów automatyzacji operacji pomiarowo-kontrolnych w świetle obecnych i perspektywicznych potrzeb CNPME uznano za ważne i konieczne. Takie sformułowanie problemu powinno dostarczyć m.in. następujących danych:

- ocenę aktualnego stanu rzeczy na ten temat dla wybranej grupy zagadnień,
- opinie specjalistów przedmiotu i innych jednostek organizacyjnych spoza CNPME,
- przybliżone drogi i sposoby unowocześnienia metod badań i pomiarów, szczególnie pod kątem automatyzacji tych prac,
- możliwość dokonania studiów zagadnienia w świetle dostępnej literatury i informacji w kraju i na świecie,
- określenie trendów rozwojowych zagadnienia w odniesieniu do potrzeb występujących w CNPME,
- możliwość lansowania określonych decyzji organizacyjnych i polityki inwestycyjnej, opartych o wnioski wynikające z opracowania tego tematu.

CNPME jest jednym z większych użytkowników aparatury badawczej i kontrolno-pomiarowej. Aparatura ta służy celowi nadrzędnemu, tj. procesowi badań i wytwarzaniu materiałów głównie dla potrzeb elektroniki. Zagadnienia tu omawiane dotyczą na ogół wdrażania najnowszych technik i urządzeń /oferowanych przez aktualny rynek/ w czynności badawcze i pomiarowo-kontrolne. Rolą zaś specjalizowanych komórek CNPME, m.in. Zakładu Metodyki i Aparatury Badawczej Z-21, jest optymalne wykorzystanie i zastosowanie tych technik w specyficznych potrzebach CNPME poprzez wzajemną adaptację bloków i podzespołów oraz rozwiązywanie nietypowych problemów wynikających z ich unikalności. Z tego powodu intencją autorów jest przedstawienie rzetelnego i obiektywnego zbioru wniosków, jakimi drogami i jakimi środkami powinien postępować rozwój metod badawczych i pomiarowo-kontrolnych w CNPME przy wysokich parametrach techniczno-eksploatacyjnych i wysokim stopniu zautomatyzowania. Dla zwiększenia zbioru informacji autorzy nawiązali kontakt korespondencyjny z szeregiem firm zagranicznych i polskich wiodących w praktycznym rozwiązywaniu problemu objętego treścią tego tematu. Są to następujące firmy: KEITHLEY, RHODE and SCHWARZ, SIEMENS, HEWLETT-PACKARD, PHILIPS, VARIAN, KOKUSAI, CORECI, SYSTRON-DONNER, EAGLE SIGNAL, SQUARE D, WESTINGHOUSE, TEKTRONIX, BRUCE oraz następujące zakłady zjednoczenia MERA: ELWRO, KFAP, LUMEL, ZUAP, ELMAT, MERATRONIK, ZSM. Spowodowano również ujęcie tych zagadnień w nomenklaturę bazy danych INSPEC I w BOINTE-NPCP.

1. AUTOMATYZACJA OPERACJI POMIAROWYCH

Wprowadzenie

Automatyczny system pomiarowy /ASP/ jest to zestaw urządzeń, którego zadaniem jest automatyczne pobieranie informacji z obiektu, obróbka tej informacji oraz rejestracja otrzymywanych wyników. ASP eliminuje w ten sposób bezpośredni udział człowieka w procesie pomiarowym i sprowadza jego rolę do ogólnego nadzoru. ASP znajdują obecnie szerokie zastosowanie tam, gdzie poprzednio takie rozwiązania były nieekonomiczne.

Jest to wynikiem rozwoju technicznego, który uczynił łatwiejszym projektowanie, konstruowanie i użytkowanie systemów pomiarowych. Niektórymi z zadań, do których systemy są szczególnie użyteczne, są:

- wielokrotne lub często powtarzane pomiary,
- pomiary wymagające wstępnej redukcji /on - line/ oraz podejmowania decyzji,
- pomiary odpowiedzi na wymuszenia,
- pomiary wymagające powtarzalności i dokładności.

Na pytanie, czy ASP jest potrzebny, nie ma wyraźnej odpowiedzi i zawsze trzeba oszacować korzyści w stosunku do przewidywanych kosztów. Korzyści wynikające z automatyzacji prac pomiarowych są ogromne, między innymi:

- bardziej zgodne wyniki w pomiarach powtarzalnych, gdyż system nie ulega zmęczeniu tak jak operator,
- większa wydajność pomiarowa, gdyż system jest, generalnie rzecz biorąc, szybszy,
- bardziej szczegółowe testowanie, ponieważ szybkość systemu pozwala na pomiar większej liczby parametrów w krótszym czasie,
- wyniki przedstawione są w odpowiedniej postaci, gdyż wiele systemów ma możliwość przetwarzania danych on - line /np. pomiar rezystancji termistrcra może być bezpośrednio przetworzony na temperaturę/.

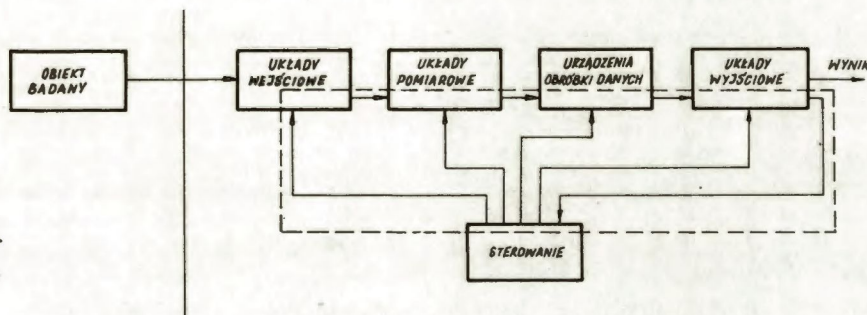
- większa dokładność; błędy mogą być mierzone automatycznie, przechowywane i uwzględniane w wynikach końcowych,
- adaptacyjne zbieranie danych /"adaptive" data acquisition/; system może być zaprogramowany do rozszerzenia pomiarów w celu lepszego zbadania problemu, gdy powstają jakieś nienormalne warunki.

Główną przyczyną przemawiającą przeciwko ASP jest jego cena i to nie tylko cena zastosowanych przyrządów pomiarowych, ale również specjalnego uzbrojenia przyrządów, czyli hardware'u /np. odpowiednie gniazda do testowania/ oraz cena przygotowania i uruchomienia software'u.

Jest więc prawdopodobne, że dokładne zbadanie możliwych dróg rozwiązania zadania pomiarowego wykaże, że można to zrobić względnie dobrze i mniejszym nakładem kosztów, nie stosując systemu.

Model ogólny systemu pomiarowego

Model ogólny systemu pomiarowego /a więc w szczególnym przypadku automatycznego/ przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Model ogólny systemu pomiarowego

W skład układów wejściowych wchodzi czujniki, przetworniki wejściowe, układy dopasowujące, układy przełączające, służące do podłączania badanych obiektów, zasilacze programowane i źródła referencji w celu wymuszenia pewnych stanów w badanym obiekcie.

Układy pomiarowe stanowią przyrządy pomiarowe takie jak: multimetry podstawowych wielkości elektrycznych, fazomierze, częstotściomierze, mostki oporności i inne. W systemach automatycznych stosuje się przyrządy pomiarowe cyfrowe. Wynika to z łatwości automatyzowania operacji pomiarowych przy użyciu mierników cyfrowych oraz stosunkowo prostej obróbki i rejestracji informacji danej w postaci cyfrowej.

Stosowanie sygnałów cyfrowych zwiększa dokładność wykonywanych operacji, pozwala na szybkie wykrywanie stanów awaryjnych oraz realizację skomplikowanych pomiarów i reguł sterowania. Urządzenia obróbki danych zawierają bloki linearyzacji, bloki przekroczeń, bloki pozwalające na obróbkę logiczną wyników pomiarów, przetwarzanie programowe i pozwalające na ewentualną redukcję nadmiaru danych z punktu widzenia potrzeb kontroli czy sterowania.

Układy wyjściowe są urządzeniami wskazującymi i rejestrującymi. Należą do nich wszelkiego rodzaju wskaźniki /cyfrowe i analogowe/, drukarki, perforatory, rejestratory, sygnalizatory itp.

Układy wyjściowe umożliwiają "porozumiewanie się" systemu z operatorem. Blok sterowania jest urządzeniem "organizującym" pracę pozostałych urządzeń. W zależności od złożoności zadań stawianych systemowi pomiarowemu stosuje się czytniki taśmy, zestawy przełączników programujących, specjalne układy logiczne, kalkulatory programowane czy wreszcie komputery. Najprostsze "systemy" pomiarowe nie mają wydzielonego bloku sterowania. Im bardziej jest skomplikowany układ sterowania, tym więcej funkcji może przejąć od pozostałych bloków systemu.

Przedstawiony powyżej model systemu pomiarowego nie jest jedyny i inne ogólne opisy systemów można znaleźć w pracy [13]. Jest istotne, aby zestawiając ASP w maksymalnym stopniu wykorzystać posiadane przyrządy. Wpływa to bowiem na koszt samego systemu, a tym samym na jego opłacalność.

Z powyższego wynika wniosek, aby nowo zakupywane przyrządy i urządzenia miały możliwość pracy w systemie, nawet jeśli są droższe od urządzeń bez tych możliwości.

Organizacja ASP

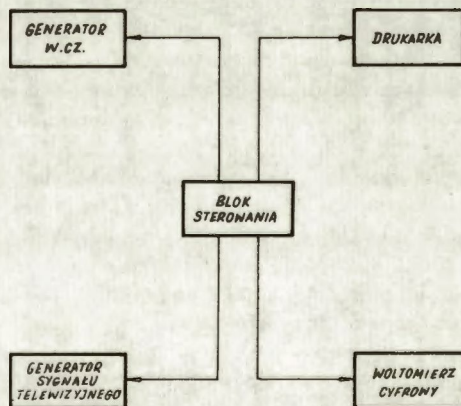
Istotną trudność w konstruowaniu systemów pomiarowych stanowią przede wszystkim nie dopasowane wejścia i wyjścia przyrządów różnych producentów, i to zarówno pod względem elektrycznym, jak i mechanicznym. W takiej sytuacji zaprojektowanie systemu, w którym będą pracować różne przyrządy, jest dosyć trudne i wiąże się z dużym nakładem pracy konstruktora.

Racjonalnym rozwiązaniem stało się wprowadzenie znormalizowanego interface'u /ang. interfacing devices - urządzenia sprzęgające/, który zapewnia właściwą współpracę poszczególnych bloków ASP, a tym samym pozwala na łatwe łączenie przyrządów różnych firm. Ścisła definicja interface'u, a dokładniej systemu interface'u, zawiera trzy główne elementy: specyfikacje mechaniczne /kable, złączniki, kasety itp./, specyfikacje elektryczne /poziomy napięć i prądów do przesyłania sygnałów/ specyfikacje funkcyjne /definicje wszystkich linii sygnałowych, zależności czasowe i kombinacje sterujące wymagane dla korzystania z linii/.

Na rys. 1 system interface'u zakresłony jest linią przerywaną.

Uwzględniając pojęcie interface'u można wyróżnić dwa typy organizacji ASP: 1/ system z interface'em gwiazdzystym /star system/ oraz 2/ system z interface'em szynowym /BUS-line system/.

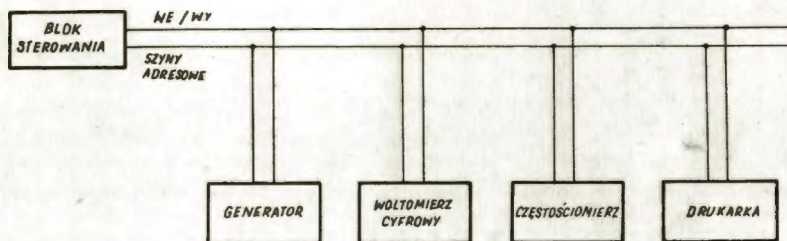
Przykład systemu z interface'em gwiazdzystym pokazany jest na rys. 2.



Rys. 2. System z interface'em gwiazdzystym

W systemie tym każdy przyrząd i urządzenie jest indywidualnie podłączone do bloku sterowania za pomocą własnych linii sterujących. Informacja programująca jest dana przeważnie w postaci poziomu. Innymi słowy, do odpowiednich linii sterujących dostarczany jest ciągły poziom sterujący tak długo, jak długo wykonywana jest pewna operacja. Interfejs tego typu ma również szereg analogowych linii sterujących, w których informacja sterująca stanowi kształt sygnału i funkcji jakiegoś parametru, np. czasu.

Informacje wejściowe mają swoje oddzielne linie. Przykład systemu z interfejsem typu BUS-line pokazany jest na rys. 3.



Rys. 3. System z interfejsem BUS-line

W takim systemie wszystkie przyrządy są podłączone do bloku sterowania poprzez wspólny zestaw linii sygnałowych. Dla każdej operacji odpowiedni przyrząd jest uaktywniany poprzez linie wejścia/wyjścia oraz poprzez linie adresowe. Informacja programująca dana jest w postaci kilku krótkich impulsów. Informacja ta jest następnie zapamiętywana w urządzeniu pomiarowym tak długo, jak wymaga tego wykonywana operacja. Ponieważ wszystkie przyrządy są podłączone równolegle do linii wejścia/wyjścia należy zagwarantować, aby pomiarów dokonywał tylko odpowiedni przyrząd w zależności od zakodowanej informacji. Temu celowi służą osobne szyny adresowe. Kiedy przyrząd "rozpozna" swój własny adres, może przyjmować lub wysyłać informację na szyny we/wy. Takie sekwencyjne przesyłanie informacji czyni system BUS-line idealnym do współpracy z maszyną cyfrową. Jak się można zorientować z powyższego opisu, zarządzanie organizacją typu BUS-line jest znacznie bardziej skomplikowane niż organizacją gwiazdową.

Również przy interfejsie szynowym stosowane przyrządy podlegają większym wymaganiom. Przyrządy te powinny "umieć" rozpoznać swój adres, mieć pamięć dla przechowywania informacji programującej, możliwość dołączenia do wspólnej szyny informacyjnej oraz inne właściwości, które nawet z prostego miernika cyfrowego czynią skomplikowane urządzenie. Dzięki jednak tak złożonej organizacji systemu BUS-line jest on bardzo elastyczny i łatwy do rozbudowania, z czego wynika jego uniwersalność.

Tych cech brak jest systemowi gwiazdowemu, którego struktura funkcjonalna może być zmieniana w bardzo ograniczonym zakresie. W związku z tym system BUS-line jest szczególnie preferowany i zdobył sobie ogromną popularność nie tylko w systemach pomiarowych, ale również w systemach przetwarzania danych i systemach automatyki.

Klasyfikacja ASP

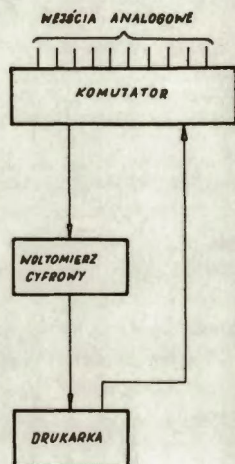
Uwzględniając stopień złożoności konstrukcji i zadań, współczesne systemy pomiarowe można podzielić na trzy duże grupy różniące się zarówno przeznaczeniem jak i stopniem skomplikowania.

Są to:

- 1/ proste "systemy" zbierania i rejestracji danych /dataloggers/,
- 2/ systemy pomiarowo-kontrolne bez maszyny cyfrowej zwane również często systemami zbierania danych /data acquisition systems/,
- 3/ systemy pomiarowo-informacyjne zawierające maszynę matematyczną.

Można również przeprowadzić klasyfikację pod kątem przeznaczenia systemów /pomiar-zestawy badawcze; kontrola, diagnostyka - zestawy dla produkcji/, wykorzystania: wyników /off-line, on-line/ czy wreszcie techniki wykonania /analogowe, cyfrowe, hybrydowe/. Jeszcze inne sposoby podziału systemów pomiarowych można znaleźć w pracy [6]. Przedstawiony powyżej sposób klasyfikacji jest jednym z najpowszechniejszych, a ponadto jest zrozumiały dla potencjalnego użytkownika systemu pomiarowego, dla którego system jest tylko narzędziem do osiągnięcia pewnego celu.

Na rys. 4 przedstawiony jest typowy system typu datalogger nazywany również systemem CRD /Centralna Rejestracja Danych/. System składa się najczęściej z przyrządu bazowego np. woltomierza, uzupełnionego komutatorem sygnałów analogowych i drukarką wyników. Ze względu na proste funkcje, jakie ten system spełnia, ma on organizację gwiazdzystą, dzięki czemu jest prosty i tani.



Rys. 4. System typu CRD

Jako przyrząd bazowy może występować inny miernik cyfrowy, np. multimetr, częstotściomierz czy fazomierz, w zależności od parametru jaki ma być rejestrowany. Czasami do takiego zestawu dołącza się kasetowe pamięci magnetyczne lub dziurkarki, ułatwiając w ten sposób dalsze przetwarzanie danych /przetwarzanie off-line/.

Według rozeznania przeprowadzonego w CNPME zapotrzebowanie na takie zestawy występuje głównie w działach produkcyjnych, gdzie byłaby prowadzona w ten sposób pełna kontrola i ścisła dokumentacja procesów technologicznych. Zestaw tego typu do automatycznego pomiaru temperatury został wykonany w 1977 r. w Z-21 i przekazany działowi PT-4.

Jeśli chodzi o zakłady naukowe w CNPME, to konieczność stosowania systemów dataloggers jest sporadyczna i - wydaje się - nie zawsze uzasadniona. Istnieje natomiast duże zapotrzebowanie na systemy typu data acquisition. Pozwalają one na częściową obróbkę danych pomiarowych i dostarczają sygnałów decyzyjnych do wykorzystania w prostych algorytmach sterowania.

Konieczność obróbki danych wynika ze wzrastającej liczby pomiarów, co czyni problematycznym wykorzystanie obszernej dokumentacji pomiarowej. Dokonanie wyboru niezbędnych wyników jest konieczne. Do najprostszej obróbki zaliczane są następujące operacje: klasyfikacja, określenie wartości średniej arytmetycznej, ocena statystyczna dokonywana na podstawie uprzedniej klasyfikacji pomiarów. Najnowocześniejsze systemy tej grupy wyposażone są w kalkulator programowany, co pozwala już na realizację dosyć skomplikowanych procesów pomiarowych. Trzecia grupa systemów jest rozszerzeniem możliwości drugiej grupy. Maszyna cyfrowa pełniąc funkcje kontrolera i jednostki przeliczeniowej wystarcza do pełnej obróbki danych pomiarowych oraz umożliwia pracę w zamkniętym układzie regulacji procesu technologicznego /praca on-line/.

Systemy te mogą wykonywać złożone czynności obliczeniowe, np. algorytmy optymalizacji. Głównie wykorzystywane tu są minikomputery, a ostatnio - dzięki rozwojowi technologii-mikrokomputery. Zdaniem autorów zastosowanie systemów grupy 2 i 3 na wydziałach produkcyjnych CNPME jest w chwili obecnej w ciągu najbliższych kilku lat niezasadnione. W związku z tym zostały pominięte w dalszych rozważaniach systemy kontroli i diagnostyki z tych dwóch grup, a cała uwaga została skupiona na systemach pomiarowych laboratoryjnych. Z kolei, jeśli chodzi o systemy CRD, to zwrócono głównie uwagę na ich przemysłowe zastosowania.

Standardy interface'u

W grupie interface'ów typu "Star" brak jest międzynarodowych standardów. Przyrządy podłączone do takiego interface'u powinny mieć wyjście cyfrowe informacji /w kodzie BCD/ oraz cyfrowe wejścia i wyjścia sterujące. Warunki takie spełnia większość produkowanych obecnie przyrządów cyfrowych.

W miarę postępu prac nad organizacją typu BUS-line wyłonił się system CAMAC /Computer application for measurement and control/, który szybko stał się standardem międzynarodowym. CAMAC jest blokowym systemem aparatury elektronicznej opracowanym dla potrzeb techniki jądrowej, ale może być z powodzeniem stosowany również w innych dziedzinach. Umożliwia on automatyczny pomiar lub sterowanie dowolnego obiektu lub procesu fizycznego, najczęściej przy bezpośrednim /on-line/ zastosowaniu komputera. Normalizacją w ramach systemu jest objęta konstrukcja mechaniczna, napięcia zasilania, poziomy sygnałów, sposób wykorzystania styków na złączach, sposoby wymiany informacji między układami oraz rozkazy, a więc wszystko to, co zapewnia wymiennność i prawidłową współpracę /interface/ bloków funkcjonalnych w systemie. CAMAC stosowany jest w dużych systemach pomiarowo-sterujących, w systemach diagnostyki i kontroli oraz systemach automatyki kompleksowej. Pełne informacje na temat CAMACA można znaleźć w [3].

Oprócz CAMAC-a powstały takie systemy, jak K-70 /firma KENT/, Telemechanique T-2000, czy ASWT /ZSRR/. Równolegle trwały prace nad interface'em przeznaczonym do pracy w laboratoryjnych systemach pomiarowych, który prostotę użytkowania łączyłby z dużymi możliwościami funkcjonalnymi. Szereg propozycji przedstawiły takie firmy, jak TEKTRONIX, RHODE-SCHWARZ, PHILIPS, SOLATRON, SYSTRON-DONNER czy HEWLETT-PACKARD. Prace firmy HEWLETT-PACKARD okazały się najbardziej zaawansowane i Komitet Techniczny IEC /International Electrotechnical Commission/ zatwierdził rozwiązanie tej firmy jako normę międzynarodową. Firmy amerykańskie zamiast nazwy Standard Interface IEC stosują inną, zgodną z dokumentami instytutu IEEE: IEEE Standard Interface 488-1975. Firma Hewlett-Packard stosuje własną nazwę HP-IB /Hewlett-Packard Interface BUS/ Standard Interface IEC został zaakceptowany przez większość firm produkujących sprzęt pomiarowy.

Również w Polsce system ten został przyjęty jako obowiązujący dla przyrządów pomiarowych mających pracować w systemie. W związku z powyższym autorom wydaje się, że jako obowiązujący interface dla ASP w CNPME należy przyjąć Standard Interface IEC.

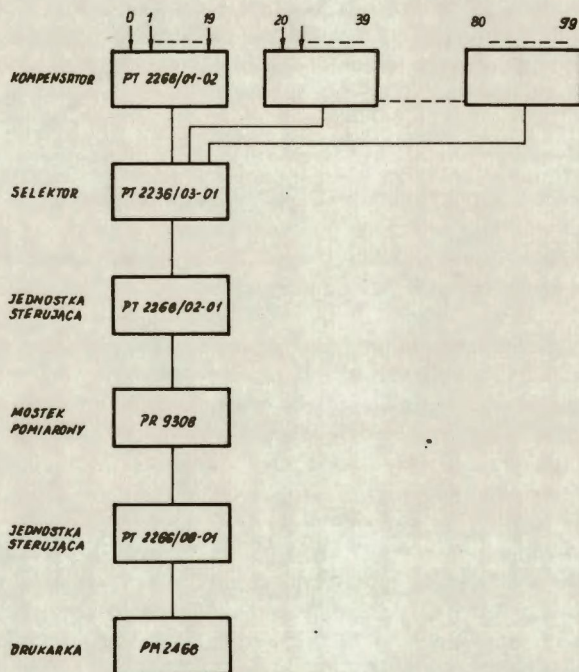
2. WYBRANE PRZYKŁADY ASP

Zestawy pomiarowe typu "datalogger"

Zestawy te zostaną przedstawione na przykładzie urządzeń firm PHILIPS i CORE-CL, które wydają się szczególnie predystynowane do rozważania w świetle występujących potrzeb w CNPME.

System PT 2266 firmy Philips

Struktura systemu przedstawiona jest na rys. 5.



Rys. 5. System PT 2266 firmy PHILIPS

Jest on przeznaczony do pomiaru wielkości mechanicznych takich, jak: moment obrotowy, siła, odkształcenie, ciśnienie, pomieszczenie, przyspieszenie, temperatura, drgania. Pomiarów tych dokonuje się za pomocą czujników serii RP 9300, RP 9200, RP 6400 wytwarzanych przez firmę PHILIPS.

Każdy czujnik podłączony jest do kompensatora /PT 2266/01-02/, który jest jednostką dopasowującą wyjście czujnika do wejścia wzmacniacza pomiarowego. Kompensator spełnia również rolę komutatora kanałów, do których podłączone są czujniki i istnieją dwa wykonania na 10 i 20 kanałów. Przy zastosowaniu jednostki sterującej PT 2266/02-01 można rozszerzyć liczbę kanałów do 100. Ponadto jednostka sterująca PT 2266/02-01 umożliwia przełączanie kanałów jedną z następujących metod:

1/ przełączanie ręczne kanałów,

<http://rcin.org.pl>

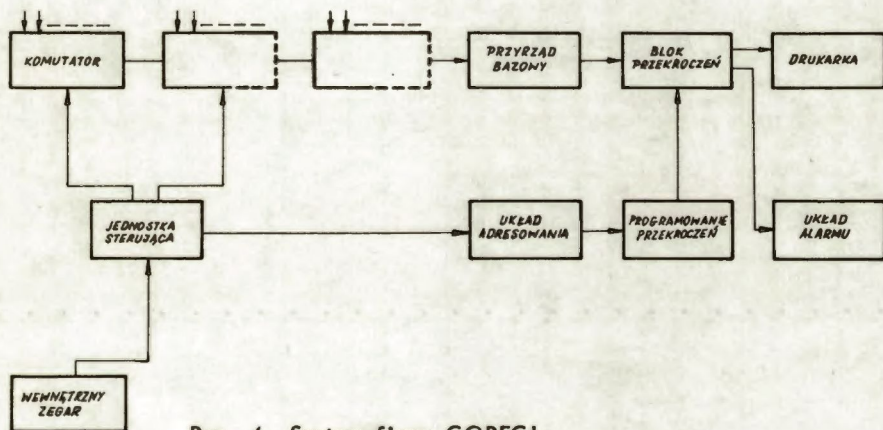
- 2/ przełączanie kanałów synchronizowane zewnętrznym generatorem,
- 3/ ciągłe automatyczne przełączanie,
- 4/ automatyczne przełączanie w jednym cyklu.

Maksymalna szybkość przełączania 10 kanałów/s. Jeżeli system ma mieć więcej niż 20 kanałów, wymagany jest selektor PT 2266/03-01, który w odpowiednim czasie podłącza każdy z kompensatorów. Jeśli wymagany jest na wyjściu sygnał cyfrowy, należy zastosować jednostkę sterującą PT 2266/08-01. Jednostka sterująca wyposażona jest w woltomierz cyfrowy pełniący rolę wyświetlacza numerycznego i przetwornika analogowo-cyfrowego oraz układy sterowania drukarką mozaikową PM 2466. Ponadto w systemie można użyć inny sprzęt rejestrujący, np. taśmowe pamięci magnetyczne, dziurkarki, rejestratory i inne. Pomiaru są dokonywane za pomocą mostków pomiarowych. W systemie przedstawionym na rys. 5 użyty jest uniwersalny mostek pomiarowy PR 9308 mogący współpracować ze wszystkimi rodzajami czujników.

System ma dwa wykonania: laboratoryjne i przemysłowe. W tym drugim przypadku system jest uzupełniony o pewne dodatkowe bloki, np. blok przekroczeń, które w ograniczonym stopniu mogą wpływać na pracę urządzeń, z którymi system pracuje, np. w razie zaistnienia nienormalnych warunków mogą urządzenie wyłączyć.

System Scanner firmy Coreci

Jest to modułowy tablicowy system pomiarowo-kontrolny o przeznaczeniu uniwersalnym. Poglądowy schemat systemu pokazany jest na rys. 6.



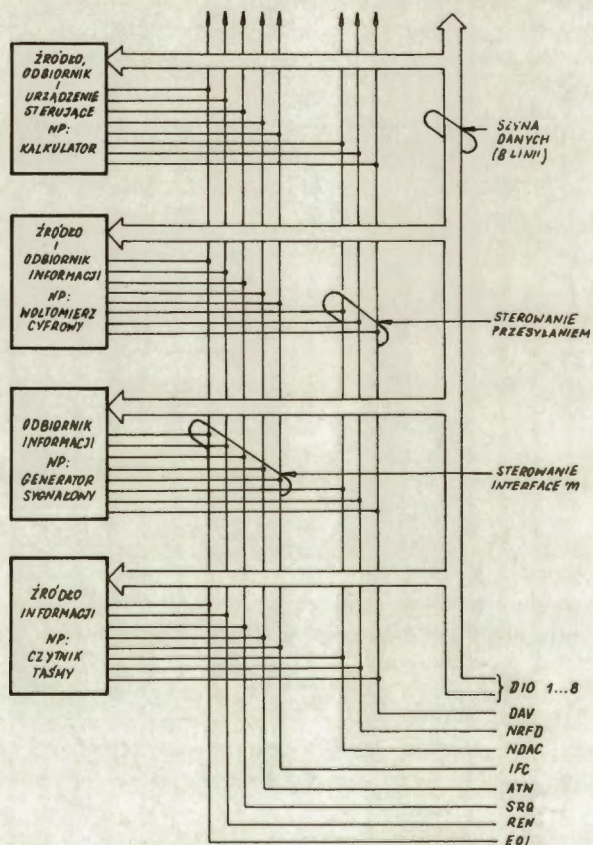
Rys. 6. System firmy CORECI

System można programować na następujące rodzaje pracy: automatyczną z powtarzaniem cykli /programuje się ostatni włączany kanał/, automatyczną w jednym cyklu, ręczną. Maksymalna liczba kanałów wynosi 1000, maksymalna szybkość wybierania 1 kanał/s. System ma programowane bloki przekroczeń, które można przyporządkować określonym kanałom poprzez odpowiednie adresowanie. Czułość przystawki bazowego jest rzędu 0,1 mV, a przy pomocy odpowiedniej przystawki można mierzyć również prąd. Jeżeli z systemem mają współpracować termopary, montuje się specjalny blok linearyzujący, który w powyższym systemie stanowi jednolitą całość z przystawką bazowym. Wydruk zawiera numer kanału, wartość zmierzona, odpowiedni znak, gdy wartość zmierzona przekracza wartość limitującą oraz datę i godzinę. Przekroczenie limitu uaktywnia również dźwiękowy sygnał alarmowy.

Modułowa konstrukcja umożliwia łatwe adaptowanie systemu do zadań, które ma spełnić. W Polsce został opracowany podobny system przyrządów tablicowych TN 7000 /przez PIAP - oddział we Wrocławiu/. Niestety nie zdał on w pełni egzaminu, przede wszystkim ze względu na zbyt dużą wrażliwość na zakłócenia oraz na "niezrozumienie" parametrów podawanych przez producenta /np. woltomierz TN 7041/. Można jednak z pewnymi modyfikacjami wykorzystywać bloki tego systemu. Jeżeli chodzi o system firmy PHILIPS, to brak jest obecnie w kraju podobnego zestawu. Wprawdzie Ośrodek Badawczo-Rozwojowy VIS prowadzi pracę w tym kierunku, ale prawdopodobnie w ciągu najbliższych lat nie będzie w stanie nic zaoferować. Istnieją również zestawy CRD przeznaczone głównie do pracy w laboratorium, np. zestawy firmy KEITHLEY /System 70/ i PHILIPS. W Polsce taki zestaw jest produkowany przez MERATRONIK /System automatycznych pomiarów wielkości elektrycznych/. Przewaga systemu 70 polega przede wszystkim na zastosowaniu bardzo czułych przyrządów pomiarowych o zakresach do pikoamperów, nanowoltów i gigaomów.

Systemy pomiarowe typu "data acquisition"

Systemy pomiarowe tego typu zostaną omówione na przykładzie systemu firmy HEWLETT-PACKARD, który zdaniem autorów jest w tej chwili najnowocześniejszym systemem pomiarowym o ukierunkowaniu laboratoryjnym.



Rys. 7. Interface HP-IB /rys. zaczerpnięty z [7] /

Podstawą systemu jest już wspomniany wcześniej interface HP-IB /rys. 7./ Szyna interface przekazuje dane i rozkazy między blokami systemu na 16 liniach sygnałowych. Osiem z nich /DIO 1...8/ zarezerwowanych jest na przekazywanie

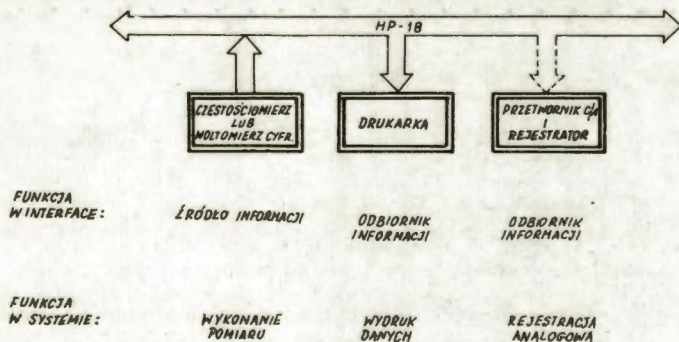
danych, które odbywa się asynchronicznie i jest sterowane trzema liniami DAV, NRFD, NDAC. Pięć pozostałych linii steruje interfacem. Jednostki wchodzące w skład systemu pomiarowego są trzech rodzajów: źródła informacji /np. czytnik taśmy/, odbiorniki informacji /np. perforator/, urządzenia sterujące /np. kalkulatory/. Przyrząd-źródło wysyła informację do jednego lub kilku odbiorników, przyrząd - odbiornik przyjmuje informację. Przyrząd - urządzenie sterujące kieruje przepływem danych przez szynę interface'u głównie przez wyznaczenie, który przyrząd ma wysłać informację, a który ma ją przyjmować. Przyrząd może spełniać więcej niż jedną z tych trzech funkcji. Bardziej szczegółowe informacje dotyczące interface'u HP-IB można znaleźć w [4], [7].

Sam system zostanie pokazany poprzez przedstawienie procedury zestawienia go zawartej w [7]. Pierwszym krokiem jest poprawne zdefiniowanie problemu pomiarowego. Jest to krok najważniejszy, gdyż wytycza kierunek działania i należy uważać, aby nie komplikować sztucznie problemu, dostosowując go do możliwości sprzętu systemowego, jaki się posiada. Wynikiem tego pierwszego kroku może być również decyzja, że system jest zbyt kosztownym rozwiązaniem. Następnym etapem jest wybór przyrządów. Jest to sprawa prosta, gdyż interface HP-IB zapewnia pełną współpracę /mechaniczną, elektryczną i funkcyjną/ wszystkich przyrządów, które ten interface posiadają.

Należy również przyjąć zasadę, że nowo zakupione mierniki powinny posiadać interface, ponieważ okazuje się to w konsekwencji tańsze niż jakiekolwiek inne rozwiązania z miernikami nie mogącymi pracować w systemie.

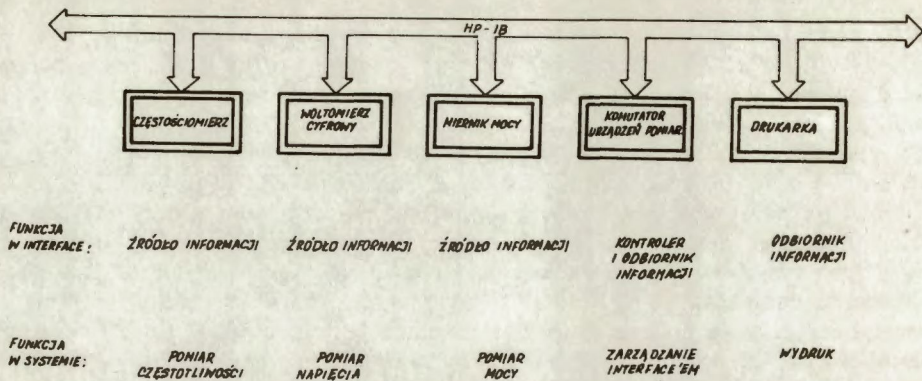
W chwili obecnej HEWLETT-PACKARD oferuje ponad 40 urządzeń posiadających interface HP-IB. Znajdują się wśród nich: miernik mocy, multimetr, komutator, miernik LCR, mostek pojemnościowy, częstotściomierz, przetworniki A/C i C/A, syntezytor częstotliwości, zasilacz prądu stałego i inne. Ważną cechą HP-IB jest to, że kontroler może być wybrany niezależnie od przyrządów pomiarowych mających pracować w systemie. W ten sposób mogą powstawać zestawy pomiarowe o różnej złożoności bez zmieniania interface'u.

Najprostsza konfiguracja pokazana jest na rys. 8. Składa się ona z pojedynczego przyrządu pomiarowego /np. częstotściomierza czy woltomierza cyfrowego/, drukarki i rejestratora z przetwornikiem C/A.



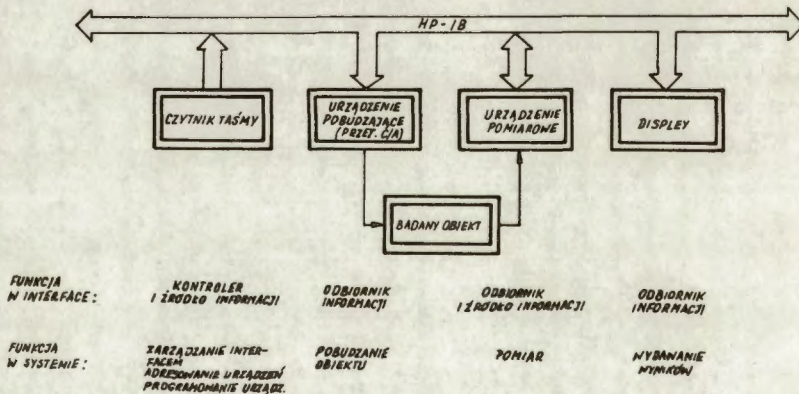
Rys. 8. Najprostszy system HP-IB /rys. zaczerpnięty z [7] /

Przyrząd pomiarowy jest źródłem informacji. To oznacza, że sygnał, który pojawi się na szynach danych interface'u, odbiornik informacji zaakceptuje bez żadnego adresowania. W konfiguracji tej nie ma oddzielnego kontrolera. Następnym stopień złożoności pokazany jest na rys. 9.



Rys. 9. System z komutatorem urządzeń pomiarowych /rys. zaczerpnięty z [7]/

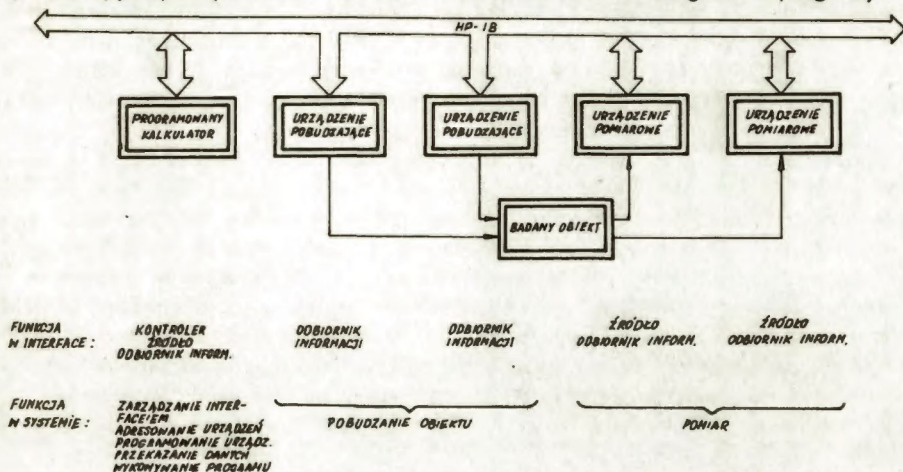
Funkcję prostego kontrolera pełni tutaj komutator urządzeń pomiarowych. Adresuje on sekwencyjnie źródła informacji i każde z nich transmituje swoje dane do drukarki. Oba powyższe przykłady to w zasadzie zestawy typu "datalogger", w których brak jest informacji programujących, tak że funkcje przyrządów i zakresy muszą być ustawione ręcznie. Zastępując komutator bardziej złożonymi kontrolerami, które mogą programować urządzenia na źródła i odbiorniki informacji, ten sam zestaw przyrządów może wykonywać znacznie większe zadania, szczególnie po przyłączeniu przyrządów wymuszających. I tak następnym stopniem złożoności jest system z czytnikiem taśmy lub kart jako kontrolerem. Rys. 10 pokazuje przykład takiego zestawu.



Rys. 10. System z czytnikiem taśmy jako kontrolerem /rys. zaczerpnięty z [7]/

Bardziej skomplikowany może być tylko system z kalkulatorem czy minikomputerem /rys. 11/, dzięki któremu można wykorzystać wszystkie możliwości, jakie dają programowane przyrządy pomiarowe. Sprzęgnięcie urządzeń systemu jest z reguły problemem trudnym, ze względu na niedopasowanie wejść i wyjść przyrządów. Problem ten jest rozwiązany, jeśli wszystkie urządzenia mogą współpracować z interfejsem HP-IB. Wystarczy wtedy połączyć je ze standardowymi kablami, a następnie każdemu urządzeniu przypisać adres i system jest gotowy do podłączenia do obiektu.

Pozostaje jeszcze opracowanie odpowiedniego oprogramowania /software/, przy czym do typowych pomiarów HEWLETT-PACKARD dostarcza gotowe programy.



Rys. 11. System z kalkulatorem /rys. zaczerpnięto z [7]/

Dla bardzo prostych systemów, jak np. ten z rys. 8, czy 9, oprogramowanie praktycznie nie istnieje i użytkownik musi tylko ręcznie ustawiać funkcje i zakresy urządzeń. W ramach systemu HP-IB HEWLETT-PACKARD oferuje system automatycznego gromadzenia danych, model 3052, który pozwala na prowadzenie on-line obliczeń, przetwarzania danych oraz sterowania, z dokładnością i szybkością pozwalającą na kontrolowanie i sterowanie procesów. Dzięki dysponowaniu możliwościami systemów komputerowych ten bazujący na kalkulatorze układ może być wykorzystywany jako tani sposób rozwiązywania kontroli i sterowania procesów, testowania parametrów technicznych, badania reakcji na pobudzenie oraz do analizy sygnałów. Można go wykorzystywać do kontroli bieżącej w produkcji, badania jakości oraz w badaniach naukowych. Oparty o programowany kalkulator biurowy Hewlett-Packard model 9825A system gromadzenia danych obejmuje także multimetr cyfrowy model 3455A, woltomierz model 3437A i komutator 3495A. Pomiary prądu stałego można wykonywać do 18 kanałów na sekundę z rozdzielczością 1 μV w zakresie 100 mV. Podobna czułość i dynamika wymagane są na przykład przy pomiarach wykonywanych przy użyciu termopar, aby zapewnić rozdzielczość 0,5°C lub powyżej. Doskonałe tłumienie szumów i niski poziom zakłóceń termicznych powoduje, że system 3052A szczególnie dobrze nadaje się do dokładnych, powtarzalnych pomiarów niskich poziomów sygnałów, nawet w obecności szumów. Efektywne tłumienie szumów sieci o ponad 120 dB przez woltomierze 3455 A/3495 A skutecznie eliminuje niepożądane odstrojenie albo nakładanie się sygnałów szumu. Pomiary wartości skutecznej można przeprowadzać do częstotliwości 1 MHz. Programowane pomiary prądu zmiennego można przeprowadzać z szybkością do 10 kanałów na sekundę dla wejść powyżej 300 Hz.

Powtarzające się przebiegi o częstotliwości do 1 MHz, albo nie ustalone przebiegi niskiej częstotliwości /poniżej 1 Hz/, można przedstawiać w formie cyfrowej za pomocą woltomierza cyfrowego 3437 A. Na jednym kanale można przechować do 5000 odczytów na sekundę dla dalszej analizy. Zwielokrotniając wejście 3437 A komutatorem, można pomierzyć do 100 kanałów na sekundę z rozdzielczością 100 μV .

Pomiary oporności można przeprowadzać metodą dwu drutów albo czterech drutów. Kalkulator 9825 można zaprogramować na wykonanie dowolnych potrzebnych obliczeń matematycznych, począwszy od linearyzacji przetwornika aż do analizy statystycznej.

Do przechowywania i organizacji danych logicznych zastosowano w nim wielowymiarowe matryce, natomiast do przechowywania gromadzonych danych służy szybka, dwukierunkowa pamięć kasetowa. Współdziałanie operatora z systemem realizowane jest przez wykorzystanie klawiatury display'a z 32 znakami alfanumerycznymi i drukarki termicznej z 16 znakami, dzięki którym można wprowadzać, przeglądać i utrwać dane wejściowe programu, pośrednie stany albo wyniki końcowe. Systemy kalkulatorowe innych firm są mniej rozbudowane, a przez to mniej uniwersalne. Mogą jednak znaleźć zastosowanie tam, gdzie nie uniwersalność ma znaczenie, ale pewne specyficzne cechy urządzeń wchodzących w skład systemu. Przykładem tego może być zestaw firmy KEITHLEY do pomiaru prądów upływu w elementach czynnych typu MOS, gdzie rozdzielczość sięga 0,1 pA. Istnieją również wybitnie specjalizowane systemy badawcze. Do takich należy np. system Sigma chromatografów gazowych firmy PERKIN-ELMER. W Polsce nad podobnymi systemami pracują zakłady UNITRA-UNIMA /system MST-1/ oraz MERA-ELWRO /system METRODIG/. Docelowo MST-1 i METRODIG mają być systemami typu "data acquisition". Będą to jednak systemy bez kalkulatora, co znacznie ogranicza ich zastosowanie jako całych systemów w pracach naukowo-badawczych. Według wstępnego rozeznania w ciągu najbliższych lat aparatura z interfejsem według IEC produkcji krajowej nie będzie dostępna. Należy również wspomnieć o systemie ESDM opracowanym w NRD, który miał się stać standardem w RWPG. Nie ma on jednak interfejsu IEC i nie uwzględniono w nim urządzeń pobudzających /jak np. zasilacze programowane/, co stawia pod znakiem zapytania możliwośći jego ekspansji.

Systemy z maszyną cyfrową

Z reguły wszystkie systemy mające interfejs typu BUS-line mogą współpracować z komputerami. Jeśli jednak pominąć systemy diagnostyki i kontroli, to tylko niewiele firm proponuje całe systemy badawcze, a więc aparaturę pomiarową sprzęgniętą z maszyną cyfrową. Na rozesłane przez autorów zapytania ofertowe tylko HEWLETT-PACKARD przedstawił swoje rozwiązanie: system HP-1B sprzęgnięty minikomputerem 21 MX. Istnieją również wysoko specjalizowane systemy, gdzie z kolei jedyną możliwością automatyzacji operacji pomiarowych jest zastosowanie komputera. Dotyczy to bardzo złożonych urządzeń badawczych, np. spektrometrów elektronowych - ESCA/AUGER, mikroskopów elektronowych do badań analitycznych - Cora, spektrofotometrów i spektrometrów mas, chromatografów gazowych itp. Są to jednak urządzenia bardzo kosztowne ze względu na swój unikalny charakter. W Polsce opracowano system pomiarów i rejestracji SKOR, który będzie pracował z minikomputerem Nova 800. Jest to jednak przede wszystkim system testujący. Ponadto "Meratronik" przewiduje produkcję systemu pomiarowego na bazie MERY 300. Są to systemy stacjonarne, które zdają egzamin jako zestawy specjalizowane, diagnostyki i kontroli lub automatyki kompleksowej. W przypadku gdy system ma być uniwersalny, z możliwością podłączenia do wielu obiektów w wielu miejscach, stosowanie systemu z minikomputerem jest niecelowe. Być może właśnie dlatego tak mało jest rozwiązań gotowych. Jeśli pominąć systemy automatyki kompleksowej, to systemy pomiarowe z komputerem nie wnoszą nowych jakości w porównaniu z systemami z kalkulatorami /bo przecież obecne kalkulatory programowane to małe minikomputery/. Między innymi w pracy [14] można znaleźć przykłady komputerowych systemów testowania, a w [15] przykłady komputerowych systemów badawczych.

Przykłady automatycznych urządzeń pomiarowych w CNPME

W CNPME znajduje się szereg automatycznych urządzeń pomiarowych; należą do nich między innymi:

- automatyczny sorter półprzewodnikowych płytek krzemu na podstawie oceny właściwości elektrofizycznych, firmy KOKUSAI - Japonia,
- helowy wykrywacz nieszczelności typu DGC-2 firmy ALCATEL - Francja,
- zestaw zbiorczej cyfrowej rejestracji wyników pomiarów typu CRT-1 /opracowany w Z-21 CNPME/,
- analizator obrazu optycznego "Qantimet" 720 firmy CAMBRIDGE INSTRUMENTS - Anglia,
- automatyczny analizator płyt fotograficznych ze spektrometru mas typu JMA - 1C-1 firmy JEOL-JAPAN,
- automatyczny system pomiaru wielkości elektrycznych firmy MERATRONIK - Polska.

3. ZAGADNIENIA BADAŃ, POMIARÓW I KONTROLI NA DZIŚ I NA JUTRO W CNPME

Stan organizacyjny badań, pomiarów i kontroli w CNPME

Gniazda badawcze i metodyki pomiarów "rodzą się" w specjalistycznych laboratoriach zakładów naukowych odpowiednich pionów CNPME. Niektóre z tych pomiarów, służące bezpośrednio potrzebom produkcji, służą ocenie jakościowej, selekcji i atestacji surowców, półproduktów i wyrobów w produkcji CNPME, są wdrożone lub nadzorowane merytorycznie przez wspomniane zakłady naukowe.

Różnorodność oraz skala pomiarów i badań w CNPME występuje w rzadko spotykanym zakresie i jest charakterystyczna dla określonej grupy materiałów i technologii przypisanych organizacyjnie poszczególnym pionom naukowym i wydziałom produkcyjnym. Każda z grup badanych i wytwarzanych materiałów rządzi się swoją specyficzną metodyką badań i pomiarów fizycznych, chemicznych, elektrofizycznych i elektrochemicznych. Fakt ten powoduje, że stosunkowo trudno jest wypracować poziome formy współpracy pomiędzy wszystkimi pionami dla prowadzenia kompleksowych lub uzupełniających się badań i pomiarów. Natomiast koniecznością jest wypracowanie wspólnego języka i form porozumiewania się między zespołami specjalistów wytwarzania określonych materiałów dla potrzeb elektroniki a specjalistami ds. zastosowań nowoczesnego miernictwa elektrycznego, szczególnie w stosowaniu automatycznych systemów pomiarowych i automatycznych systemów sterowania.

Co się mierzy w CNPME

W pierwszej kolejności należy wyróżnić pomiary wielkości nieelektrycznych, które - wyjątek - występują w zakresie wartości niespotykanych w "zwykłej" innej jednostce naukowo-produkcyjnej jakiegokolwiek resortu.

Są to między innymi:

temperatura - w zakresie od ok. -190°C do ok. $+2000^{\circ}\text{C}$, tj. od pomiarów zjawisk nadprzewodnictwa, oporności resztkowych i innych w temperaturze ciekłego helu lub azotu do monokryształizacji materiałów tlenkowych i wytwarzania spieków trudnotopliwych;

czas - w zakresie od nanosekund do dziesiątków godzin, tj. od pomiarów czasu życia nośników mniejszościowych w materiałach półprzewodnikowych i czasu właściwego zaniku widm optycznych do kontrolowanej krystalizacji związków $A_{II}B_{VI}$;

ciśnienie - w zakresie od 10^{-10} Tr dla próżni do ok. 80 at, tj. od potrzeb spektrometrii elektronowej i spektrometrii mas do monokryształizacji związków półprzewodnikowych i innych;

przepływy gazów - w zakresie od 10^{-11} Trl s⁻¹ do setek litrów na godzinę; tj. od pomiarów próżnoszczelności złącz elektryk-metal do pieców gazowych służących do wypalania ceramiki i atmosfer ochronnych H₂, Ar, H₂ + N₂;

czystość i skład chemicznych gazów - w zakresie od 0,1 ppm vol dla gazów bardzo czystych do mieszanin i związków para-gaz, tj. od wysokich wymagań na czystość np. argonu jako gazu ochronnego w procesie monokryształizacji krzemu do wytwarzania dyfuzyjnych warstw epitaksjalnych;

analiza chemiczna ilościowa i jakościowa materiałów stałych i cieczy z zastosowaniami spektrofotometrii, spektrografii, spektrometrii mas, chemii analitycznej - w zakresie czułości od 10⁻⁸% wagowo, tj. od spektrometrii mas analizującej materiały o najwyższym stopniu czystości dla potrzeb mikroelektroniki do stopów metali, związków półprzewodnikowych i mieszanin o bardzo wysokich tolerancjach składu chemicznego;

badania strukturalne materiałów - od mikroskopii elektronowej transmisyjnej poprzez m.in. mikroskopię elektronową odbiciową, termoanalizę, badania i pomiary metalograficzne do badań rentgenowskich;

badania i pomiary wszystkich właściwości mechanicznych materiałów;

pomiary tolerancji kształtu płaskości, płaskorównoległości, chropowatości powierzchni itp.;

mikroskopia optyczna i pomiary metodami optycznymi;

analiza widm optycznych w trzech podstawowych zakresach, od pomiarów elektrofizycznych elementów optoelektronicznych poprzez pomiary fotoluminescencji widm absorbcyjnych do pomiarów elektroluminescencji i katodoluminescencji. Pomiary podstawowych wielkości elektrycznych w CNPME mają również niespotykaną gdzie indziej rozpiętość wartości pomiarowych;

pomiary prądu stałego - w zakresie od pikoamperów do kiloamperów, tj. od pomiarów charakterystyk prądowo-napięciowych struktur półprzewodnikowych do pomiarów prądu w grzejnictwie elektrycznym oporowym;

pomiary napięć stałych - w zakresie od kilku μ V do ok. 120 kV, tj. od pomiarów stałości napięć metodami kompensacyjnymi do układów zasilających aparaturę badawczą i technologiczną;

pomiary napięć przemiennych - w zakresie od kilku nV do ok. 10 V i częstotliwości od 50 Hz do 20 kHz /dotyczy analizy widm optycznych/;

pomiary oporu elektrycznego - w zakresie od ok. 10⁻⁴ Ω do ok. 10⁺¹⁴ Ω , tj. od pomiarów oporu resztkowego materiałów bardzo czystych w temperaturze ciekłego helu do pomiarów właściwości izolacyjnych ceramiki;

pomiary oporności właściwej materiałów półprzewodnikowych - w zakresie od 0,001 Ω cm do 1000 Ω cm;

pomiary stałej dielektrycznej i kąta stratności $\text{tg } \delta / 10^{-4} - 10^{-3} /$ - w zakresie częstotliwości od 50 Hz do 10 MHz i w pasmach mikrofalowych L.S.X. /dotyczy materiałów ceramicznych/.

Zagadnienia i problemy pomiarowo-badawcze w CNPME

W przekonaniu autorów w pierwszej grupie problemów występujących w CNPME, niejako wstępnych do konfrontacji potrzeb i wymagań z możliwością wdrożenia automatycznych systemów pomiarowych i sterowania, są zagadnienia rejestracji danych o obiekcie badanym.

W ok. 70% przypadków występujących w CNPME już bezpośrednia rejestracja wyników pomiarów w postaci analogowej, cyfrowej lub innej zakodowanej oraz reje-

stracja stanów przekroczeń są wystarczające, żeby problemy pracochłonności, rzetelności i efektywności badań i pomiarów oraz inne trudności przestały być aktualne.

Na przykład:

- wielokanałowa rejestracja krzywych prądowo-napięciowych i innych w czasie,
- wielokanałowa rejestracja temperatury i innych wielkości nieelektrycznych,
- rejestracja danych ilościowych i jakościowych o stanie wszystkich czynników energetycznych w instalacjach i przy ważnych węzłach technologicznych.

Dla tych i podobnych potrzeb w CNPME występuje i będzie występować wzrastające zapotrzebowanie na:

- rejestratory wielozakresowe i wielokanałowe X-t,
- rejestratory wielozakresowe X-Y,
- drukarki kolumnowe i wierszowo-kolumnowe,
- dziurkarki i rejestratory magnetyczne,
- detektory i przetworniki wielkości nieelektrycznych,
- układy linearyzujące /lub korekcyjne/ rzeczywiste charakterystyki przetworników,
- elektroniczne przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe,
- przetworniki logarytmiczne,
- zasilacze programowane cyfrowo i analogowo,
- specjalizowane programatory i regulatory,
- multimetry cyfrowe z automatyczną zmianą zakresów,
- gniazda pomiarowe, uchwyty, transportery przedmiotu mierzzonego.

Przykłady, które na dzień dzisiejszy powinny wejść w fazę prac modernizacyjnych dla istniejących metod pomiarowo-kontrolnych, można podzielić na te, które dotyczą części produkcyjnej i na te, które dotyczą części naukowo-badawczej CNPME.

Przykłady dotyczące części produkcyjnej CNPME

W tej grupie przykładów w jaskrawej formie występuje masowość stuprocentowych testów kontrolnych czynności międzyoperacyjnych oraz pełne badania atestujące dla większości wyrobów gotowych.

Szczególnie dotyczy to pomiarów tolerancji kształtu, próżnioszczelności, niektórych prac międzyoperacyjnych w technologii wytwarzania złącz dielektryk-metal, pomiarów grubości warstw epitaksjalnych, niektórych pomiarów elektro-fizycznych materiałów półprzewodnikowych, analiz składu chemicznego i innych. Optymalizacja technologii, stałość jakościowa surowców i materiałów wyjściowych oraz maksymalna dyscyplina utrzymania reżimów technologicznych może zwiększyć próg ufności wydziałów produkcyjnych do efektów ich pracy. Pozwoli to także na eliminację całego szeregu testów kontrolnych międzyoperacyjnych poprzez powszechne wdrażanie statystycznych metod kontroli opartych o zasady teorii prawdopodobieństwa. Wdrożenie systemów rejestracji danych należy widzieć jako:

- obiektywną dokumentację historii procesu technologicznego,
- obiektywną informację o stanie pracy zespołów i urządzeń technologicznych,
- obiektywną informację o ilości i jakości czynników energetycznych.

Zasadność takiego postępowania dla specjalistów inżynierii materiałowej jest oczywista, gdyż każdemu z nich wiadomo, jak wiele subtelnych czynników i zależności decyduje o wydajności produkcji i jakości materiałów dla potrzeb elektroniki. Pomiar tolerancji kształtu podzespołów i wyrobów wymagają modernizacji poprzez:

- wprowadzenie w większym stopniu kontroli czynnej na obrabiarkach,
- elektroniczne pomiary tolerancji kształtu,
- opracowanie zespołów automatycznych sorterów przysposobionych do szybkiego transportu przedmiotu mierzzonego poprzez zestawy czujników pomiarowych.

W jakim stopniu gniazda pomiarowe, uchwyty, wydajne transportery przedmiotu mierzonych stanowią barierę uniemożliwiającą wdrożenie stosunkowo prostych /z pomiarowego punktu widzenia/ metod kontrolnych dla potrzeb produkcji w CNPME, widać na poniższym przykładzie. W CNPME jest wytwarzany szeroki wachlarz obudów dla hybrydowych i monolitycznych układów scalonych o ilości wyprowadzeń elektrycznych od 10 do 48.

Treścią pomiarów jest:

- pomiar drożności rezystancji elektrycznej ścieżek - doprowadzeń,
- pomiar rezystancji izolacji między wyprowadzeniami,
- wytrzymałość mechaniczna złącz dielektryk - metal.

Opracowane lub zaadaptowane dla tych celów przez Z-21 - CNPME szybkie i wydajne przyrządy pomiarowe, które spełniają wymagania z pomiarowego punktu widzenia, z trudnościami są wdrażane do eksploatacji z braku funkcjonalnych i niezawodnych uchwytów pomiarowych. Definiowane wymaganiami technicznymi pomiary jakościowe wyrobów wytwarzanych nowymi technologiami muszą uwzględniać odpowiednio nowoczesny sprzęt pomiarowo-kontrolny. Opracowywane metody pomiarów powinny spełniać ważne wymagania użytkowników z wydziałów produkcyjnych takie, jak:

- przewidywana liczba pomiarów,
- operatywność i funkcjonalność procesu pomiarowego,
- powtarzalność i dokładność pomiarów,
- zdolność rozdzielcza,
- wydajność, czas pomiaru itp.

Przykłady dotyczące części naukowej CNPME

Wśród zagadnień pomiarowo-badawczych dotyczących części naukowej CNPME można wyróżnić wspólne dla nich cechy, a mianowicie:

- obiektem badanym jest najczęściej próbka materiału,
- właściwości materiału określone są na ogół w funkcji jednej, rzadziej kilku zmiennych wymuszonych, np. temperatury, stanu spolaryzowania, drogi, czasu, długości fali itp.,
- równoczesna ilość mierzonych wielkości od 1 do 6,
- zmiany warunków pomiarowych /stanów wymuszonych/ na ogół wolne tj. co kilkadziesiąt sekund do co kilku godzin,
- ostateczne cechy i właściwości badanego materiału /obiektu/ określone są w większości przypadków ze stosunkowo prostych konfiguracji matematycznych ujmujących zmierzone wielkości i współczynniki korekcyjne,
- dominuje ocena jakościowa zależności dwóch zmiennych wywodząca się na ogół z prostej rejestracji analogowej.

Poniżej podano zagadnienia pomiarów i badań należące do tych, dla których potrzeba ujęcia w system automatycznej organizacji pomiaru występuje najsilniej:

- analiza widm fotoluminescencyjnych materiałów optoelektronicznych,
- analiza widm optycznych półprzewodnikowych struktur świecących,
- analiza widm absorbcyjnych materiałów półprzewodnikowych,
- pomiary rentgeno-graficzne,
- pomiary fizykoelektryczne materiałów półprzewodnikowych /optoelektronicznych i krzemu/,
- pomiary rozkładu oporności właściwej krzemu metodą rozptywu oporności,
- pomiary elektrofizyczne elementów optoelektronicznych,
- pomiar charakterystyki pojemnościowo-napięciowej struktur półprzewodnikowych,
- badania elektrofizyczne dielektryków.

4. PODSUMOWANIE

Konieczność zmodernizowania i potrzeba zwiększenia wydajności pomiarowych aparatury i urządzeń w CNPME jest powszechna. W związku z tym zagadnienia te należy rozwiązywać drogami i środkami jeszcze skuteczniejszymi niż dotychczas, a mianowicie:

- problem należy podnieść do rangi ważnej i rozwojowej dla CNPME,
- metodyka badań i pomiarów na etapie opracowania nowej technologii musi równocześnie uwzględniać zagadnienia wydajności pomiarowych i automatyzacji procesu pomiarowego,
- rozwój i wdrażanie nowych technologii wytwarzania materiałów do produkcji powinno być poprzedzone analizą środków i narzędzi, za pomocą których konieczne będzie określanie cech jakościowych materiału, z uwzględnieniem liczby przewidywanych pomiarów,
- rolę równorzędną w tej analizie powinni odgrywać inżynierowie ds. zastosowań nowoczesnych środków technicznych w procesie pomiarowym, wyposażeni odpowiednio do występujących potrzeb,
- dla szerokiego potraktowania problemu należy wygospodarować takie środki inwestycyjne, których wykorzystanie rozwiązałoby cały zbiór zagadnień,
- popularyzować nowoczesne metody badań, szczególnie ujęte w zorganizowane systemy pomiarowe, wśród zespołów inżynierów ds. techniki i technologii wytwarzania materiałów,
- zalecać i praktycznie egzekwować zakup takiej aparatury i sprzętu, który nosi wybitne znamiona nowoczesności i cechy, które kwalifikują je do współpracy w zorganizowanych systemach pomiarowych.

LITERATURA

1. Automacyjne systemy pomiarowe i pomiary mikroukładów scalonych MOS. Wyd. PIE: Informacje, Studia, Przyczynki
2. Bouwens A.J.: Digital instrument course. Wyd. Philips
3. CAMAC. Blokowy system oprzyrządowania elektronicznego do pomiarów automatycznych i sterowania. Konstrukcja i organizacja logiczna PN-72/T-06530
4. Gaszold H., Skarbek-Kruszewski J.: Podstawowe informacje o Standard Interface IEC dla elektronicznych systemów pomiarowych. PAK nr 4/1977
5. Genera M.: Elementy organizacji informacyjnych systemów pomiarowych. Prace PIE 1975, nr 2
6. Genera M.: Problemy projektowania informacyjnych systemów pomiarowych. Prace PIE 1975, nr 1
7. Hewlett-Packard Journal. Januaty 1975
8. Katalogi firm: PHILIPS, RHODE AND SCHWARZ, SYSTRON-DONNER, TEKTRONIX, HEWLETT-PACKARD, SQUARE D, KEITHLEY
9. Noty firm: BOONTON, COMEF, CORECI, EAGLE SIGNAL, HEWLETT-PACKARD, IMM /Warszawa/, INTERSTATE ELECTRONICS CORPORATION, KEITHLEY, MERA-ELMAT, MERA-ELWRO, MERA-KFAP, PERKIN ELMER CORPORATION, PHILIPS, PIAP /Wrocław/, SQUARE D, STRUTHERS-DUNN, SYSTRON-DONNER, TEKTRONIX, UNITRA-UNIMA
10. Problemy elektronizacji gospodarki narodowej. Wyd. PIE: Informacje, Studia, Przyczynki
11. Sowiński A.: Dzisiaj i jutro techniki pomiarowej. Prace PIE 1973, nr 1-2
12. Sowiński A.: Pomiary wieloparametrowe. Prace PIE 1972, nr 1-2
13. Wybrane zagadnienia miernictwa układów scalonych. Wyd. PIE: Informacje, Studia, Przyczynki
14. Zagadnienia realizacji systemów pomiarowo-informacyjnych do badań naukowych i procesów technologicznych. Wyd. Politechniki Wrocławskiej. Prace naukowe IME
15. Zimmermann R.: Automatyčna centralizacja, pomiar i obróbka danych W-wa 1975, MON