

## MINIKOMPUTEROWE WSPOMAGANIE BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH W MECHANICE

KONSTANTY DRZEWIŃSKI,  
REINHOLD KALUŻA,

OSWALD MATEJA,

KRZYSZTOF SKRZYPULEC

Opole  
WSI

### 1. Wstęp

Mimo intensywnego rozwoju analitycznych i numerycznych metod badawczych, stosowanych w mechanice konstrukcji, rola metod doświadczalnych jest w dalszym ciągu duża. I tak, np. badania doświadczalne służą udoskonaleniu i budowie nowych modeli fizycznych i matematycznych opisujących zjawiska w mechanice. W wielu dziedzinach postęp techniki nie może czekać na rozwiązania teoretyczne. W sukces muszą tu przyjść badania doświadczalne [7, 8, 9, 10, 13, 14, 20].

Ostatnio rozwijane są metody wykorzystujące zalety techniki cyfrowej i zalety metod doświadczalnych [18, 19]. Komputer (minikomputer) wykorzystywany jest coraz częściej do wspomagania prac eksperymentalnych. Stało się to możliwe dzięki postępowi w elektronice, głównie mikroelektronice.

W niniejszym artykule, autorzy — po krótkim wstępie zawierającym informacje ogólne — zamierzają przedstawić swoje doświadczenia zdobyte w czasie stosowania minikomputera do wspomagania badań doświadczalnych z mechaniki.

Należy podkreślić, iż w krótkim opracowaniu nie sposób omówić wszystkich podstawowych wiadomości z zakresu stosowania minikomputerów w badaniach eksperymentalnych. Z zakresu tego dostępne są jednak opracowania monograficzne, które zasługują na uwagę (np. [5, 6, 13, 14, 15, 18, 23, 25, 32]).

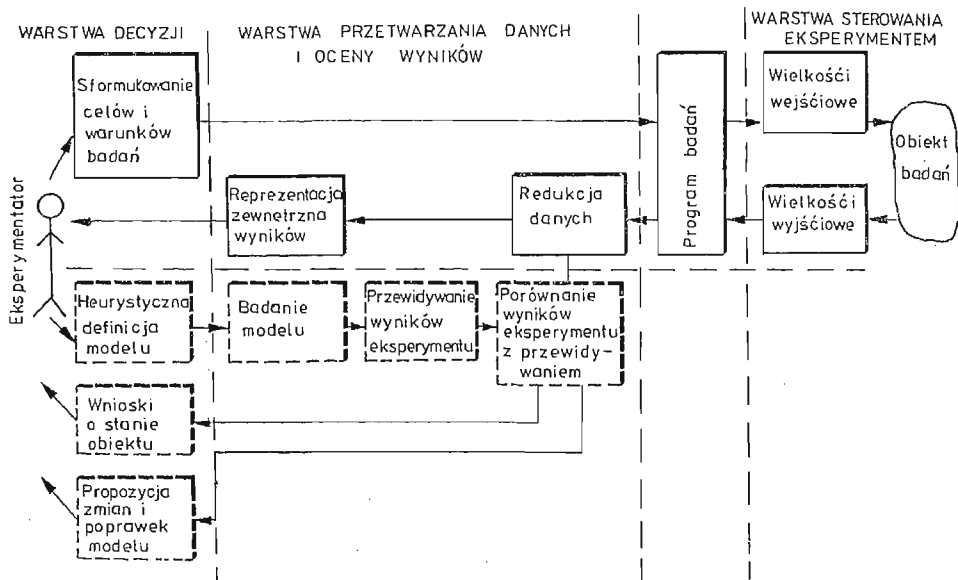
### 2. Ogólne zasady organizacji prac eksperymentalnych

Organizację czynności związanych z przeprowadzaniem eksperymentu można podzielić na trzy następujące warstwy [25] (rys. 2.1):

- warstwa decyzji, w której badacz — eksperymentator dokonuje, na podstawie wyników częściowych, korekt dalszego przebiegu eksperymentu, zmian w modelu i w obiekcie;
- warstwa przetwarzania danych polegająca na analizie wyników dla otrzymania wielkości mierzalnych pośrednio oraz na obliczeniu charakterystyk statystycznych;

— warstwa sterowana eksperymentem, polegająca na uzmiennianiu wielkości wejścia i wykonania pomiarów zgodnie z programem badań.

Planowanie prac eksperymentalnych, gromadzenie i budowa środków pomiaru jest domeną intelektualną człowieka i nie może być przedmiotem automatyzacji. Automatyzacji winien podlegać natomiast sam proces pomiarowy. Do jego automatyzacji wykorzystywane są coraz częściej specjalizowane układy (systemy) pomiarowe [14, 15, 18, 19, 25, 28, 32]. Układy te pracować mogą w sposób niezależny lub też mogą być wspomagane przez komputer. Poprzez połączenie układu pomiarowego z minikomputerem uzyskuje się system pomiarowo-informacyjny, znajdujący obecnie coraz to szersze zastosowanie w pracach eksperymentalnych [23, 25, 28, 29]. Przewaga takiego systemu nad dotychczas



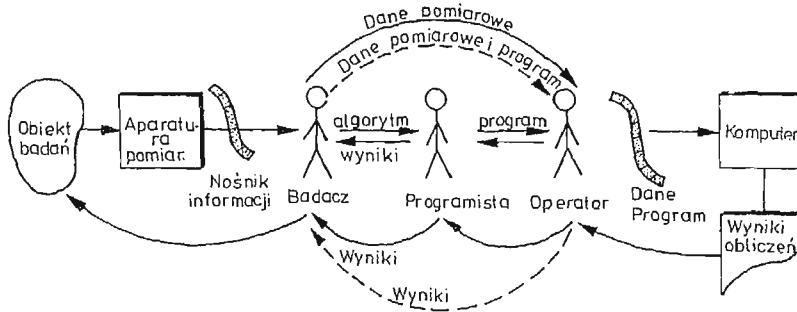
Rys. 2.1. Ogólny schemat organizacji prac eksperymentalnych

stosowanymi układami pomiarowymi (wyposażonymi w pamięć czy nawet mikrokomputer) polega przede wszystkim na jego uniwersalności. Minikomputer może sterować i obsługiwać kilka układów pomiarowych, a ponadto może być również wykorzystywany do obliczeń numerycznych. Zapewnia to jego efektywniejsze wykorzystanie (praca w systemie abonentkim) [1, 28, 29].

Rozróżnia się dwa sposoby korzystania z techniki komputerowej w pracach eksperymentalnych:

- tryb off-line (pośredni),
- tryb on-line (o działaniu bezpośrednim).

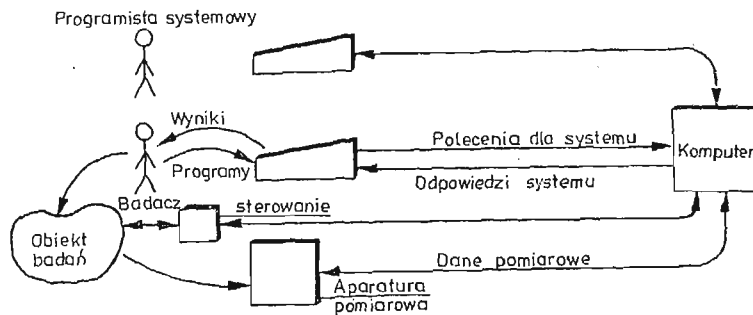
W trybie off-line (rys. 2.2) wyniki pomiarów odczytane lub zarejestrowane podczas badań są utrwalane na nośnikach informacji (np. papierowa taśma perforowana) a następnie wprowadzane do komputera. Wyniki pomiarów utrwalone na taśmie perforowanej mogą być wprowadzone do komputera w sposób bezpośredni lub pośredni po ich retransmisji, czyli przystosowaniu do kodu komputera. Wyniki obliczeń, na ogół po dość długim



Rys. 2.2. Schemat korzystania z techniki komputerowej w pracach eksperymentalnych; klasyczny tryb pośredni (off-line)

czasie, wracają do eksperymentatora. Szybszą, a zarazem mniej pracochłonną realizację badań według trybu off-line uzyskać można poprzez zastosowanie do rejestracji wyników pomiarów urządzeń rejestrujących zawierających pamięć kasetową lub dyskową przystosowaną do bezpośredniej współpracy z komputerem.

W trybie bezpośrednim (rys. 2.3) badacz sam formułuje program aplikacyjny, który wprowadza do komputera. Dane pomiarowe są wprowadzone do komputera bezpośrednio poprzez sprzężenie z aparaturą pomiarową, czyli tak zwany interfejs. Badacz korzysta na ogół z wielu programów opracowanych przez programistów systemowych. Komputer będąc tu integralną częścią stanowiska badawczego, może poza gromadzeniem i analizowaniem danych nadzorować względnie nawet sterować samym procesem wymuszania obciążeń lub przemieszczeń.



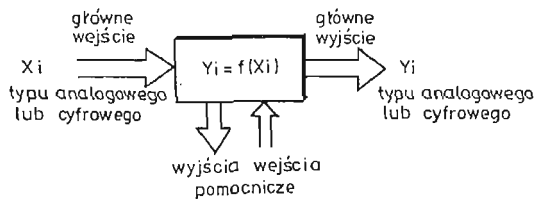
Rys. 2.3. Schemat korzystania z techniki komputerowej w pracach eksperymentalnych; system o działaniu bezpośrednim (on-line)

### 3. System pomiarowy oraz jego elementy składowe

Układem pomiarowym określany jest zbiór technicznych środków, który to zbiór, poprzez odpowiedni dobór jego elementów i ich wzajemne sprzężenie, przystosowany jest do realizacji określonej operacji pomiarowej, tzn. do pomiaru, do rejestracji, do przetwarzania lub do odtwarzania określonych wartości przebiegu (funkcji) [14, 15]. Zdolność realizacji określonej operacji pomiarowej danego układu pomiarowego podyktowana jest

własnościami zastosowanych elementów oraz zależy od rodzaju sprzężeń między tymi elementami, czyli od struktury układu pomiarowego. Elementy składowe układu pomiarowego w najogólniejszym modelu są „czarną skrzynką” z wejściami głównymi  $X_i$  i wyjściami głównymi  $Y_i$  oraz wejściami i wyjściami pomocniczymi (rys. 3.1) [14, 15, 23, 25].

Wejścia i wyjścia główne opisywane są sygnałami pomiarowymi, to jest sygnałami przenoszącymi informacje o wielkościach mierzonych, przetwarzanych lub odtwarzanych (por. [1, 14, 15, 32]).



Rys. 3.1. Model elementu (systemu) pomiarowego

Podstawy matematycznego modelowania sygnałów informacyjnych oraz urządzeń i systemów pomiarowych omówione jest między innymi w monografiach [14, 15].

Odpowiednio do dwóch typów informacyjnych sygnałów głównych — analogowych i cyfrowych, przenoszących informacje o wielkościach mierzonych (przetwarzanych lub odtwarzanych) rozróżnia się następujące cztery typy przetworników znajdujących zastosowanie w układach pomiarowych [14, 23]:

- przetworniki analogowo-analogowe (A/A), przetwarzające sygnały analogowe w sygnały analogowe (np. czujnik pomiarowy, wzmacniacz),
- przetworniki cyfrowo-analogowe (C/A), przetwarzające sygnały cyfrowe w sygnały analogowe (np. konwertory),
- przetworniki analogowo-cyfrowe (A/C), przetwarzające sygnały analogowe w sygnały cyfrowe (np. woltomierz, omomierz cyfrowy),
- przetworniki cyfrowo-cyfrowe (C/C), przetwarzające sygnały cyfrowe w sygnały cyfrowe (np. translatory).

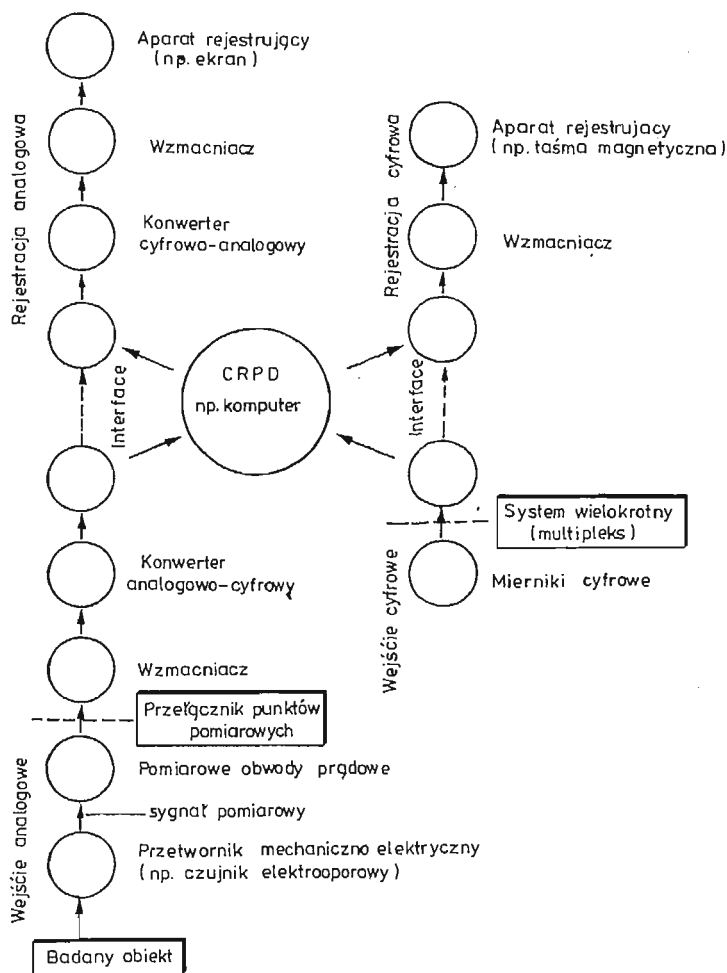
W cyfrowej technice pomiarów, dogodnej dla maszyn cyfrowych, podstawową rolę odgrywają przetworniki cyfrowe zwane konwertorami typu C/A, A/C i C/C. Przetworniki te umożliwiają także zmechanizowanie procesu odczytu graficznych przebiegów analogowych uzyskiwanych z oscylografów lub rejestratorów.

Układy pomiarowe, systemu pomiarowo-przetwarzającego, którego schemat przedstawiono na rys. 3.2, zestawiane są z reguły z przyrządów pomiarowych, przetworników typu A/A, konwertorów, komutatorów, rejestratorów, wzmacniaczy oraz układów dopasowujących sygnały, a więc translatorów lub interfejsów.

Każdy ciąg systemu pomiarowo-analizującego przystosowany jest w zasadzie do obsługi jednego zewnętrznego urządzenia. Układ pomiarowy w większości realizacji jest więc równoległym zwielokrotnieniem układów mono informacyjnych. Zwielokrotnienie punktów pomiarowych w tym przypadku wymagałoby zwielokrotnienia układów pomia-

rowych a przede wszystkim przetworników pomiarowych typu A/A, A/C lub C/A. Przetworniki te, jak dotychczas, są stosunkowo kosztowne, dlatego stosuje się — w celu lepszego ich wykorzystania — komutację sygnału [13, 14, 18, 23].

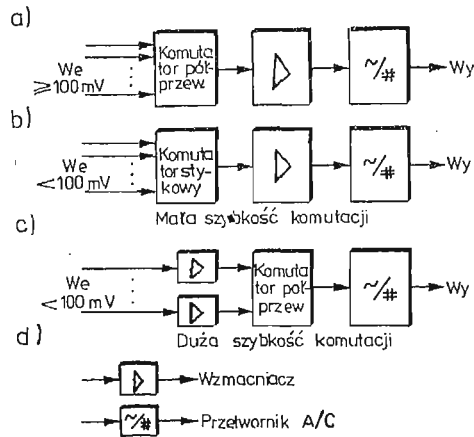
Współcześnie stosuje się dwie odmiany komutatorów: stykowe i półprzewodnikowe. Bardziej nowoczesne i niezawodne są komutatory półprzewodnikowe; napotyka się jednak



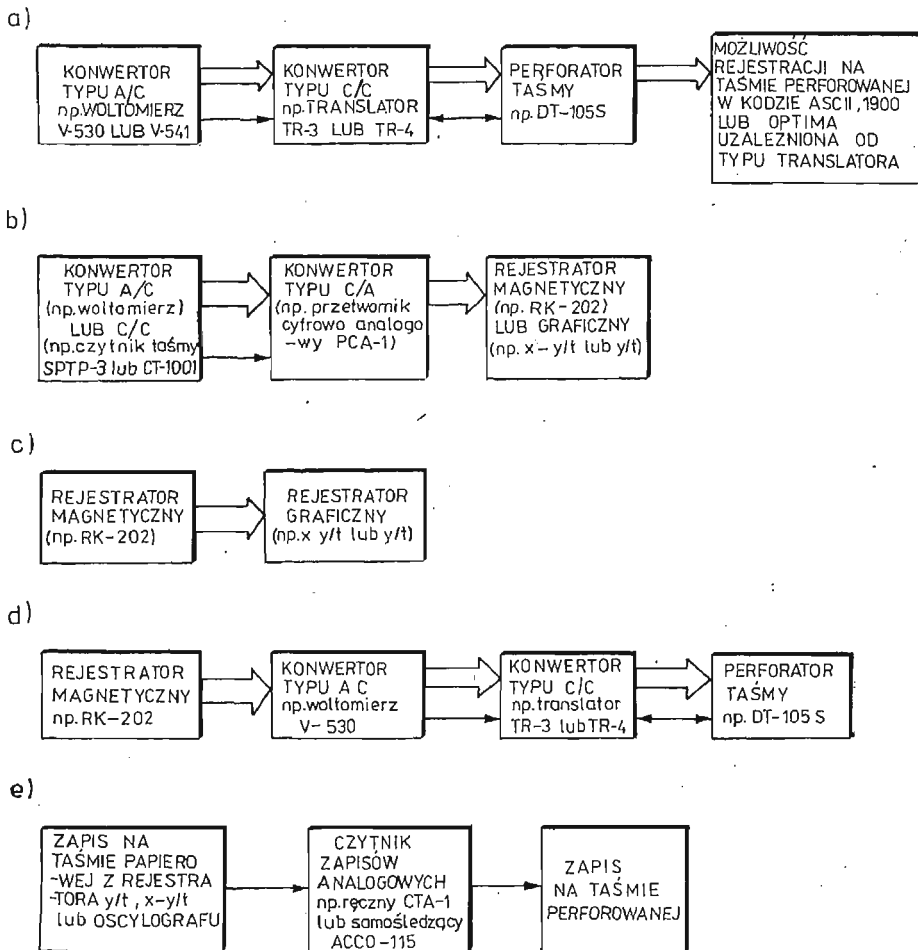
Rys. 3.2. Schemat systemu pomiarowo-przetwarzającego; CRPD — centralna rejestracja i przetwarzanie danych

na trudności przy budowie komutatorów dla sygnałów o niskich napięciach. Z tego też względu obecnie najczęściej znajdują rozwiązania przedstawione na rysunku 3.3 [23].

Komutator w badaniach wykorzystywany może być również jako przetwornik do zapisu sygnału analogowego w postaci sygnału dyskretnego, czyli sprowadzany może być do funkcji urządzenia przekształcającego (dyskretyzującego) sygnał pomiarowy.

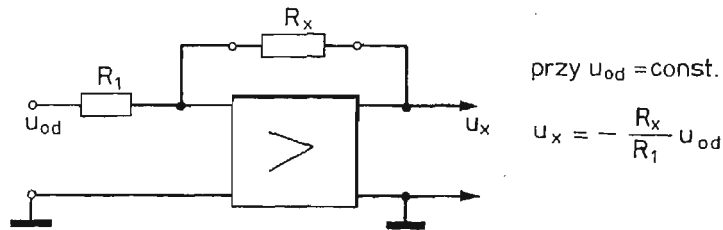


Rys. 3.3. Stosowane sposoby komutacji sygnału pomiarowego [23]



Rys. 3.4. Przykładowe rozwiązania końcówek pomiarowo-rejestrujących stosowanych w badaniach typu off-line

Szerszego omówienia wymagają urządzenia umożliwiające pomiar, jak i zapis sygnału pomiarowego w postaci dogodnej dla maszyny cyfrowej oraz prowadzącego badania. Urządzenia te, jak przetworniki pomiarowe (mierniki, rejestratory graficzne względnie magnetyczne) lub konwertory (woltomierze cyfrowe, omomierze cyfrowe, czytniki zapisów analogowych, częstotściomierze i fazomierze cyfrowe względnie translatory) umożliwiają przez odpowiednie połączenie budowanie końcówek pomiarowo-rejestrujących, znajdujących zastosowanie w badaniach typu off-line. Przykładowe realizacje niektórych końcówek, możliwe do uzyskania na bazie krajowej aparatury przedstawiono na rys. 3.4. Układ przedstawiony na rys. 3.4a, wyposażony w translator TR-3, umożliwia rejestrację wyników pomiarów na taśmie perforowanej w kodzie Optima lub ASCII dogodnym odpowiednio do Odry 1204 lub minikomputerów SM-3 i SM-4. Układ ten przy zastosowaniu translatora TR-4 umożliwia uzyskanie rejestracji wyników pomiarów w kodzie ASCII lub 1900 dogodnym do minikomputerów SM-3 i SM-4 oraz komputera Odra 1305, pracującego w kodzie 1900. Układ ten można stosować również do cyfrowego pomiaru rezystancji, czyli sprowadzić do funkcji omomierza cyfrowego poprzez dodanie dodatkowego układu w postaci wzmacniacza operacyjnego z oporowym sprzężeniem zwrotnym (rys. 3.5).



Rys. 3.5. Schemat strukturalny wzmacniacza dodatkowego, stosowanego przy pomiarze rezystancji woltomierzem cyfrowym

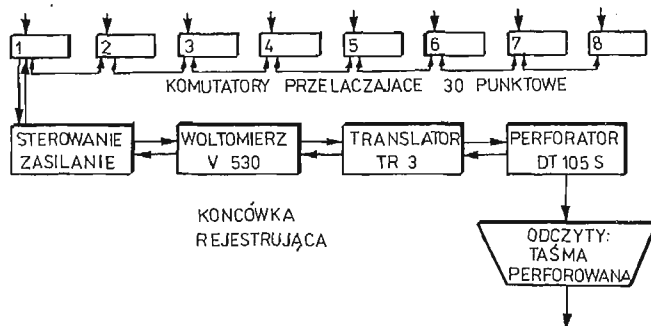
Układy przedstawione na rys. 3.4b, c, d, i e umożliwiają realizację następujących zmian postaci zarejestrowanego sygnału pomiarowego:

- odtworzenie zapisu na taśmie perforowanej w postaci przebiegu graficznego — układ z rys. 3.4b,
- zapis sygnału dyskretnego w postaci analogowej na taśmie magnetycznej lub w postaci graficznej — układ z rys. 3.4b,
- przekształcenie w postać graficzną sygnału zapisanego na rejestratorze magnetycznym — układ z rys. 3.4c,
- zapisanie na taśmie perforowanej sygnału zarejestrowanego na taśmie magnetofonowej — układ z rys. 3.4d,
- zapisanie na taśmie perforowanej oscylogramu względnie graficzny przebieg — układ z rys. 3.4e.

Możliwy do zastosowania w układzie z rys. 3.4e czytnik zapisów analogowych (ręczny CTA-1 lub samośledzący ACCQ-15) omówiony jest między innymi w pracach [11, 24 27].

#### 4. Systemy pomiarowe typu off-line stosowane w badaniach własnych

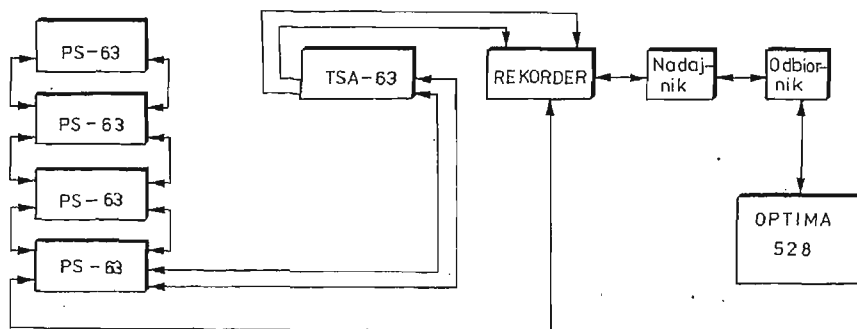
**4.1. Układ przełączająco-rejestrujący.** Układ ten, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 4.1, zastosowano do pomiaru rozkładu pola temperatury w powłokowej chłodni kominowej [31]. W skład układu wchodzi osiem 30 punktowych komutatorów mechanicznych, blok sterujący oraz końcówka rejestrująca składająca się z woltomierza cyfrowego V530, dzielnika napięcia, translatora TR-3, perforatora taśmy DT-105-S i bloku sterującego (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Schemat blokowy aparatury zastosowanej do pomiaru (rejestracji) temperatury w powłoce chłodni kominowej

**4.2. Układ tensometryczny.** Posiadane trzy standardowe układy pomiarowe składające się z automatycznego mostka tensometrycznego TSA-63 oraz czterech 25-cio punktowych skrzynek przełączających produkcji MIKROTECHNA przystosowano do współpracy z automatem organizacyjnym OPTIMA-528, (rys. 4.2). Zastosowany tu układ sprzęgający wyposażono w nadajnik oraz odbiornik. Umożliwia to przesyłać informacje pomiarowe drogą łączności przewodowej od stanowiska badawczego do automatu organizacyjnego OPTIMA-528, umieszczonego w bezpośrednim sąsiedztwie minikomputera SM-3.

Zastosowane połączenie pomiarowego zestawu tensometrycznego z automatem organizacyjnym OPTIMA-528 umożliwia prowadzenie badań w trybie off-line z komputerem Odra 1204 oraz minikomputerami SM-3 i SM-4. Realizację współpracy z minikomputerami SM-3 i SM-4 umożliwia opracowany program tłumaczący informacje zapisaną w kodzie OPTIMA na kod ASCII.

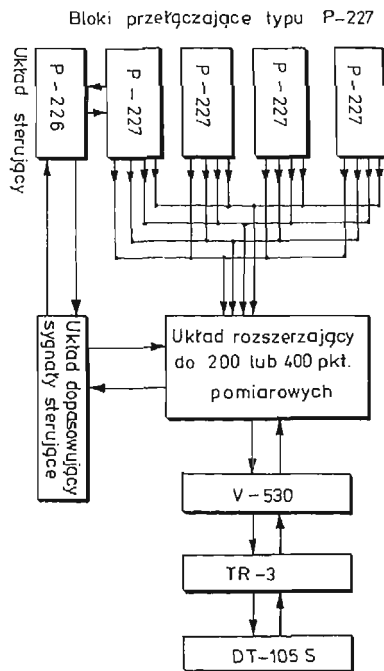


Rys. 4.2. Schemat blokowy układu tensometrycznego TSA-63 połączonego z automatem organizacyjnym Optima-528



4.3. Układ pomiarowo-rejestrujący wykonany na bazie bloków P-226 i P-227. Układ ten stosowany obecnie w badaniach modelowych wykonany został na bazie bloków przełączających P-227, bloku sterującego P-226 produkowanych przez MERATRONIK oraz z końcówki rejestrującej. Układ ten, (rys. 4.3), rejestrujący wyniki pomiarów na taśmie perforowanej z szybkością 10-ciu pomiarów na sekundę przystosowano również do bezpośredniej współpracy z minikomputerem SM-3. Przy współpracy z minikomputerem, realizowanej w trybie on-line, stosowana jest maksymalna szybkość rejestracji układu, wynosząca 100 pomiarów na sekundę.

Układ ten szczegółowo omówiony jest w pracy [3].

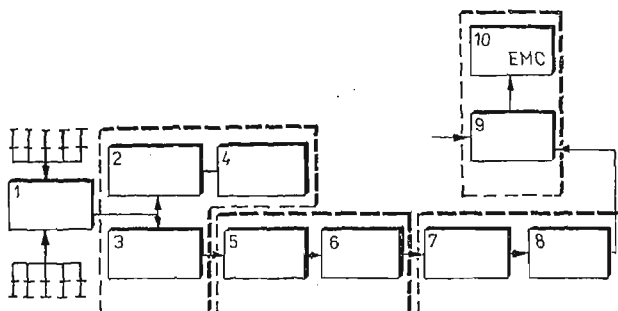


Rys. 4.3. Schemat blokowy układu pomiarowo-rejestrującego

4.4 Aparatura strunowa PAS. Aparatura strunowa PAS produkowana jest przez Zakład Aparatury Naukowej Uniwersytetu Jagiellońskiego w wersji cyfrowej i analogowej. Dostępne są mierniki analogowe SAM-10 oraz cyfrowe SMC-10 (SMC-2) przystosowane do zdalnych automatycznych pomiarów częstotliwości drgań strun dziesięciu czujników podłączonych do miernika z chwilową rejestracją wskazań i stałą rejestracją na taśmie perforowanej.

Schemat blokowy aparatury strunowej PAS przedstawiono na rys. 4.4. Mierniki SAM-10 i SMC-10 współpracować mogą z czujnikami do pomiaru: odkształceń, temperatury, przemieszczeń, ciśnienia (parcia) oraz odchylenia kątowych.

Miernik cyfrowy SMC-10 przystosowany jest do współpracy z drukarką taśmy perforowanej DT-105S, czyli również do pośredniej współpracy z komputerem. Szczegółowe dane techniczne miernika SAM-10 i SMC-10 jak i czujników pomiarowych podane są między innymi w pracy [30].

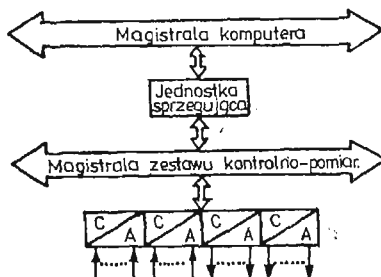


Rys. 4.4. Schemat blokowy strunowej aparatury cyfrowej; 1 — komutator, 2 — sterowanie ręczne, 3 — sterowanie automatyczne, 4 — wskaźnik numeracji czujników, 5 — wzmacniacz układu pomiarowego, 6 — czasomierz liczący, 7, 8 — układ rejestrujący, 9 — czytelnik, 10 — EMC

### 5. Systemy pomiarowe typu on-line — kanały procesowe

Kanał procesowy uzyskuje się poprzez sprzężenie układu pomiarowego z komputerem. Połączenia te realizowane są za pomocą urządzenia łączności, czyli urządzenia (interfejsy) dopasowujące sygnały pomiędzy magistralą komputera a magistralą układu pomiarowego (rys. 5.1).

Interfejsy stosowane w układach pomiarowych oraz w systemach komputerowych oparte są najczęściej na standardach: UNIBUS, CAMAC, IEC, PI, V24, IEC, SII. Zasady ich organizacji omówione są pracach [23, 25].



Rys. 5.1. Schemat realizacji połączenia układu pomiarowego z komputerem

Urządzenia łączności umożliwiają korespondencję pomiędzy magistralami komputera oraz dołączonymi zewnętrznymi urządzeniami (rys. 3.2). Urządzenia sprzęgające komputer z obiektem muszą zatem, ogólnie biorąc, spełniać następujące zadania, [23]:

- izolować zestaw komputerowy od zakłóceń i uszkodzeń mogących wystąpić w obiekcie lub w sieci przewodów,
- dopasowywać poziomy napięciowe i energetyczne występujące na obiekcie do występujących w zestawie komputerowym,
- dopasowywać chwile czasowe występowania sygnałów na obiekcie do chwil czasowych przetwarzania sygnałów w zestawie komputerowym (tzw. pamięci buforowe),

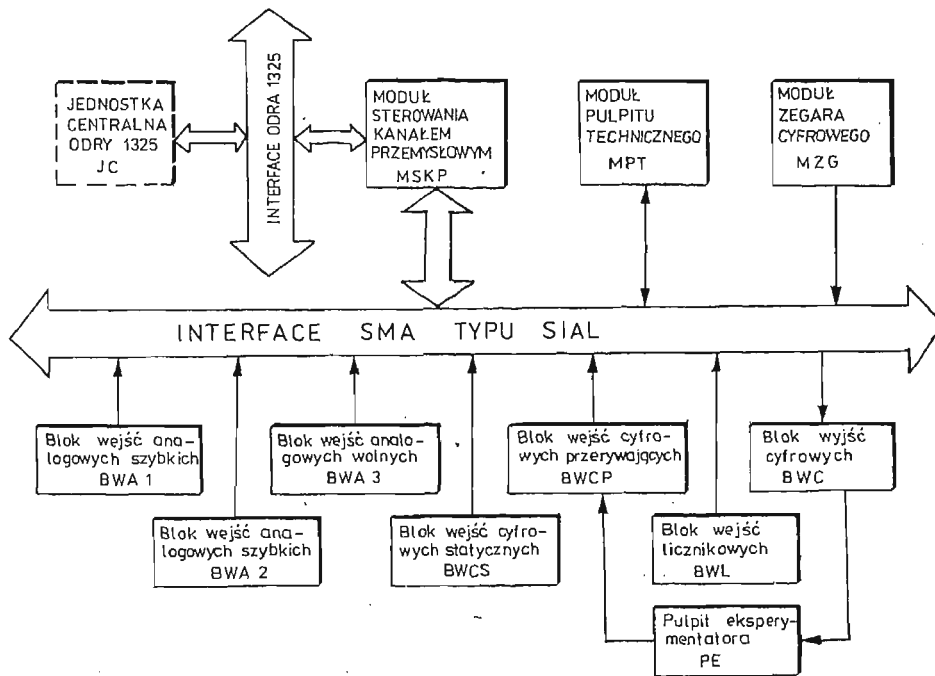
— przetwarzać postać sygnałów (np. analogowe w cyfrowe, kodowane liczbą sygnałów na kodowane liczbami dwójkowymi itd.).

W zależności od sposobu realizacji, kanały procesowe podzielić można na następujące trzy grupy, [23]:

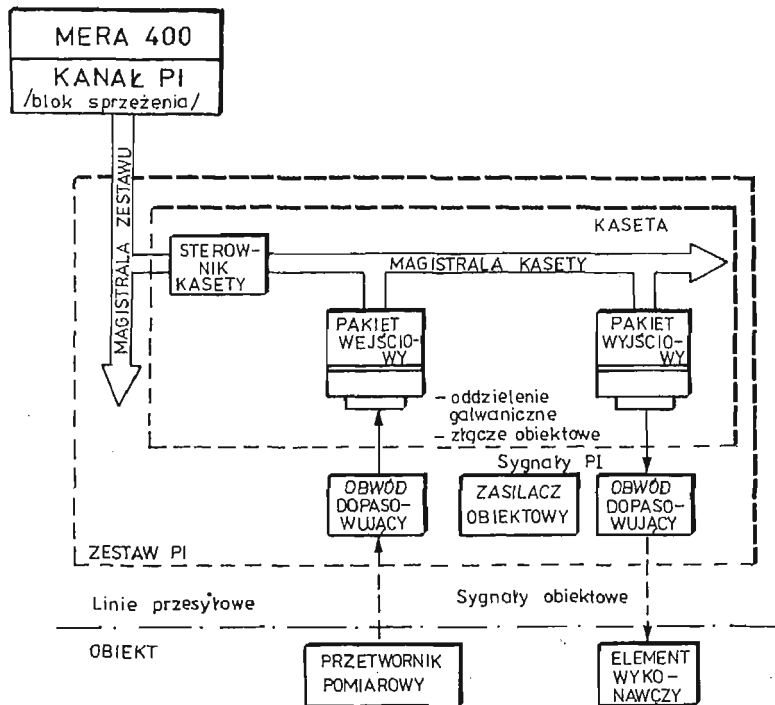
- kanał procesowy opracowany dla określonego komputera lub rodziny komputerów,
- kanał procesowy typu uniwersalnego łączony z komputerem przy użyciu jednostek sprzęgających,
- unikalny kanał procesowy zaprojektowany i wykonany przez użytkownika.

Kanały procesowe pierwszej grupy dostarczone są razem z komputerem jako jedno z urządzeń zewnętrznych. Kanał taki charakteryzuje się kompleksowością, kompletnością oraz dobrymi parametrami technicznymi i eksploatacyjnymi. Do grupy tej zaliczyć należy kanały procesowe produkcji ZSRR [28, 29], przystosowane do współpracy z minikomputerami: M-6000, M-7000, SM-1, SM-2, SM-3 i SM-4. Do grupy drugiej zaliczyć można: krajową aparaturę standardu CAMAC [23], system mikrokomputerowy MERA-60, czy też kanał automatyki INTEL DLIGHT — PI [23]. Na podkreślenie zasługuje fakt, że wszystkie minikomputery rodziny SM mogą być wyposażone w urządzenie sprzęgające, umożliwiające współpracę z krajową aparaturą standardu CAMAC.

Konkretną realizację kanału procesowego ODRA 1325-SMA wdrożonego na bazie komputera Odra 1325 i Systemu Modułowej Automatyki SMA w Laboratorium Dynamiki Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej omówiono między innymi w pracy [4]. Schemat tego układu przedstawiono na rys. 5.2.



Rys. 5.2. Schemat blokowy zestawu SMA-Odra 1325



Rys. 5.3. Schemat blokowy zestawu MERA-400-PI

Z krajowej aparatury na uwagę zasługują również urządzenia peryferyjne standardu PI, mogące współpracować między innymi z komputerami MERA-400 oraz ODRA 1325. Schemat blokowy kanału procesowego zestawionego na standardzie INTEL DLIGIT-PI przedstawiono na rys. 5.3. Zestaw PI, stanowiący dla komputera jedno urządzenie wejścia-wyjścia, obejmuje: jeden blok sprzęgający i od 1 do 16 kaset ze sterownikami kaset. Maksymalna pojemność zestawu PI wynosi 256 stanowisk adresowanych.

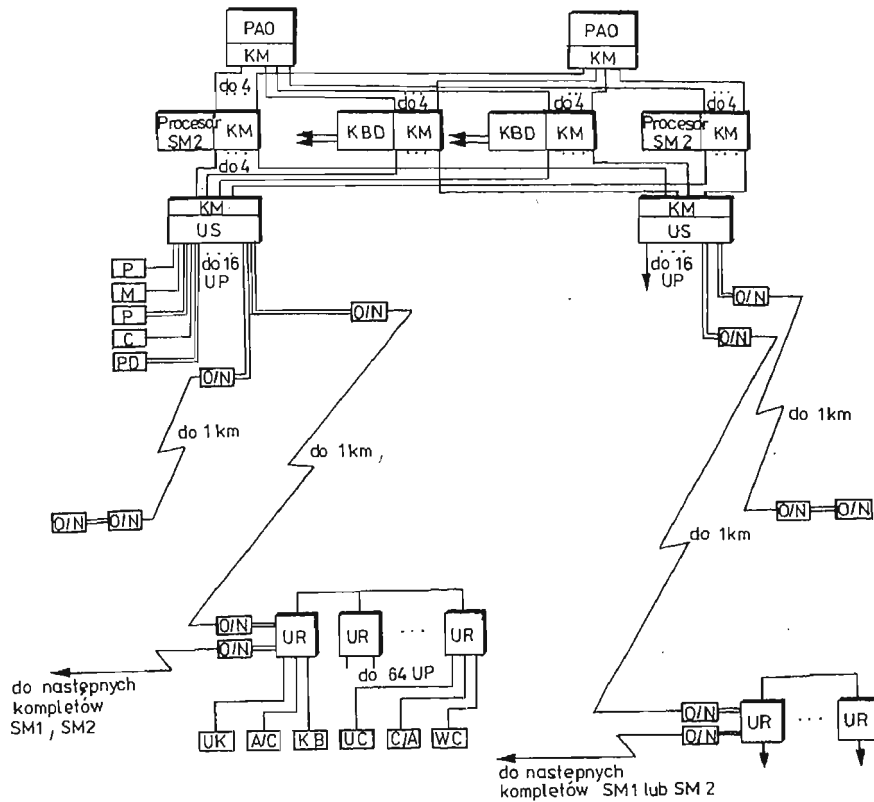
Przykładową organizację sprzężenia kanału procesowego z minikomputerem rodziny SM (SM-2) przedstawiono na rys. 5.4.

Podstawowymi blokami, przedstawionego na rys. 5.4, kanału procesowego o interfejsie 2K są [28, 29]:

- układ sterujący kanałami wejścia — wyjścia,
- kanał bezpośredniego dostępu do pamięci,
- multipleksowy kanał wejścia/wyjścia,
- przetwornik analogowo-cyfrowy typu A612-10 lub A612-11.

Kanał ten charakteryzuje się następującymi parametrami eksploatacyjnymi:

- maksymalna liczba połączeń urządzeń zewnętrznych 1764 — przy dwustopniowej adresacji oraz 56 — przy adresacji jednostopniowej,
- zakres pomiarowy  $\pm 10$  V i  $\pm 5$  V,
- rozdzielczość  $2^{-11}$ ,
- czas przetwarzania do  $10\mu\text{s}$ ,

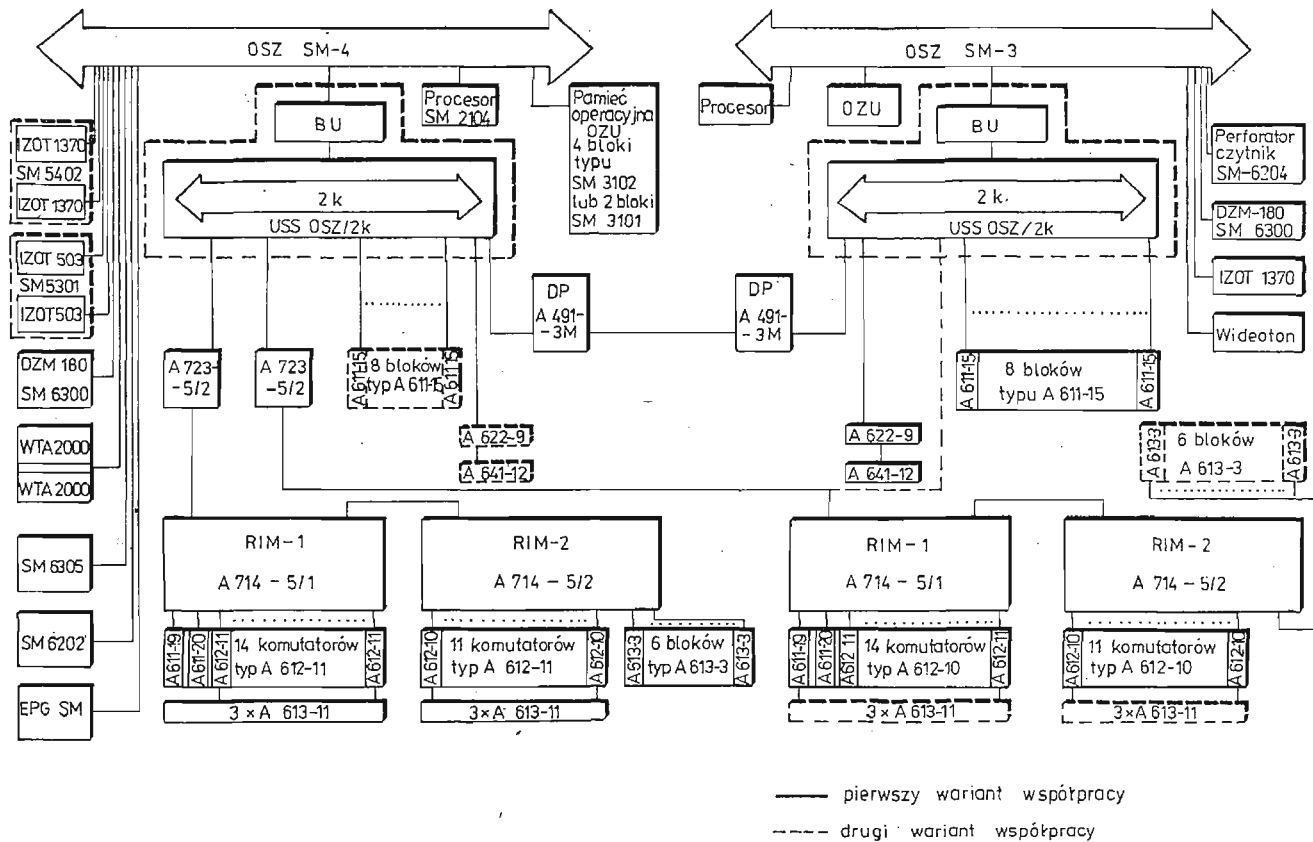


- PAO – pamięć operacyjna 32k słów
- KM – komutator systemu obsługujący urzadz. standardowe systemu
- KBD – kanał bezpośredniego dostępu do pamięci
- US – układ wej./wyj.
- O/N – układy odbiorczo-nadawcze stosowane w systemie gdzie urzadz. kanału są oddalone od części centralnej systemu
- M – monitor
- P – perforator
- D – drukarka
- C – czytnik
- PD – pamięć dyskowa
- UR – urządzenia rozszerzające ilość podłączanych urządzeń peryferyjnych
- UP – urządzenia peryferyjne
- UK – komparator
- A/C – przetwornik analog.-cyfrowy
- KB – komutator bezkontaktowy
- C/A – przetwornik cyfr. analogowy
- WC – wejście cyfrowe
- UC – układ sterowania cyfrowego

Rys. 5.4. Kanał procesowy zrealizowany na bazie minikomputera SM-2 oraz urządzeń peryferyjnych SM-1, SM-2

- czas komutacji komutatora A611-10 — 100 $\mu$ s,
- czas komutacji komutatora A612-11 — 4  $\mu$ s.

Konfigurację kompletowanego w Laboratorium, przez autorów, kanału procesowego na bazie minikomputerów SM-3 i SM-4 oraz urządzeń peryferyjnych SM-1 i SM-2 (por.

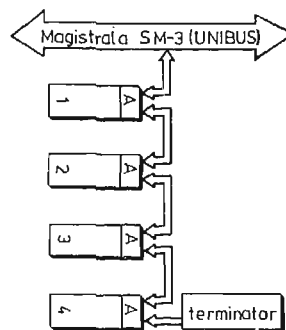


Rys. 5.5. Kanał procesowy zrealizowany na bazie minikomputerów SM-3 i SM-4 oraz urządzeń peryferyjnych SM-1, SM-2

rys. 5.4) przedstawiono na rys. 5.5. Kanał ten składał się z minikomputerów SM-3 i SM-4 sprzężonych między sobą poprzez dwustronny rejestr DP typu A491-3M. Współpraca minikomputera SM-4 jak i SM-3 z urządzeniami peryferyjnymi SM-1 i SM-2 zapewniona będzie poprzez interfejs zrealizowany w postaci bloku łączącego interfejs OSZ i 2K typu USSOSZ/2K, [28]. Minikomputer SM-4 wchodzący w skład kanału procesowego wyposażony będzie ponadto w: procesor SM2104, pamięć operacyjną SM3102, pamięć dyskową SM5402 ( $2 \times I20T1370$ ), pamięć taśmową SM5301 ( $2 \times I20T503$ ), drukarki znakowo-mozaikowej DZM180-SM6300, wideotermina WTA2000, drukarki wierszowej SM6305, urządzenia wyjścia, wejścia taśmy perforowanej SM-6202, grafoskopu EPG-SM oraz bloku rozszerzającego system BRS.

Kanał procesowy skompletowany na bazie urządzeń peryferyjnych SM-1 i SM-2 składa się z dwustronnego rejestru DP A491-3M, urządzeń rozszerzających ilość podłączonych urządzeń peryferyjnych RIM-A714 w składzie RIM-1 typu A714-5/1 oraz RIM-2 typu A714-5/2, modułów wewnątrzsystemowej łączności MSW A723-5/2, modułów przetworników analogowo-cyfrowych A611-19, modułów przetworników analogowo-cyfrowych porównujących A-611-20, komutatorów bezstykowych typu A612-10 i A612-11, modułów podłączenia pomiarowych urządzeń cyfrowych A611-15, modułów wejścia-wyjścia sygnałów dyskretnych A641-12, modułów wybierania i zapamiętywania A613-3, modułów galwanicznego rozłączenia A622-9, modułów normalizacji i filtracji A613-11 oraz modułów sygnałów kontrolnych typu IS-1 oraz IS-2.

Typowym przykładem uniwersalnego kanału procesowego jest aparatura standardu CAMAC [23]. Dzięki jej uniwersalności znalazła one duże rozpowszechnienie w różnego rodzaju systemach stosowanych w pracach eksperymentalnych. Układ ten wyposażony w interfejs SM-3-CAMAC typu 106A może być bezpośrednio połączony z magistralą minikomputera SM-3. Interfejs ten umożliwia łańcuchowe podłączenie czterech kaset do magistrali komputera (rys. 5.6). Interfejs SM-3 CAMAC jest specjalizowanym kontrolerem przeznaczonym do sterowania kasetami CAMAC z minikomputera SM-3 w reżimie pracy programowej, zapewniającym dwukierunkową wymianę informacji między minikomputerem a systemem CAMAC.



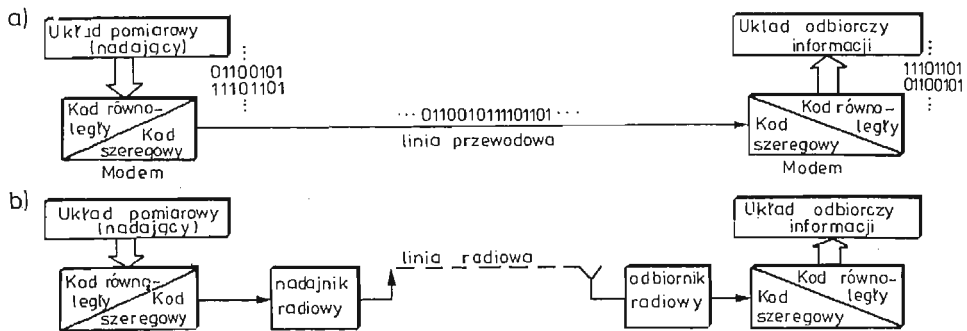
Rys. 5.6. Schemat zestawu wielokasetowego CAMAC przystosowanego do współpracy z minikomputerem SM-3, SM-4; A — blok sterujący

Kompletowany w naszym laboratorium kanał procesowy składający się z czterech kaset CAMAC sprzężonych z minikomputerem SM-3 charakteryzuje się następującymi parametrami eksploatacyjnymi:

- liczba możliwych połączeń — 600,
- zakresy pomiarowe  $\pm 50$  mV,  $\pm 100$  mV,  $\pm 500$  mV,  $\pm 1$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V,
- rozdzielność —  $2^{-11}$ ,
- czas przetwarzania — 20 ms,
- czas komutacji do 100 Hz.

Szczegółowe informacje na temat organizacji jak i konstrukcji systemu CAMAC podane są między innymi w opracowaniach [23]

Na rys. 5.7 pokazano schemat transmisji danych stosowanej przy pośrednim podłączeniu układu pomiarowego z komputerem. Przesyłanie danych cyfrowych realizowane może być jedno względnie wieloprzewodowymi liniami typu telefonicznego względnie drogą radiową. Zagadnienie realizacji sieci telekomunikacyjnej do obsługi komputerów obszernie omówione jest w monografii [1].



Rys. 5.7. Szeregowe przesyłanie danych cyfrowych; a) przewodowe, b) bezprzewodowe

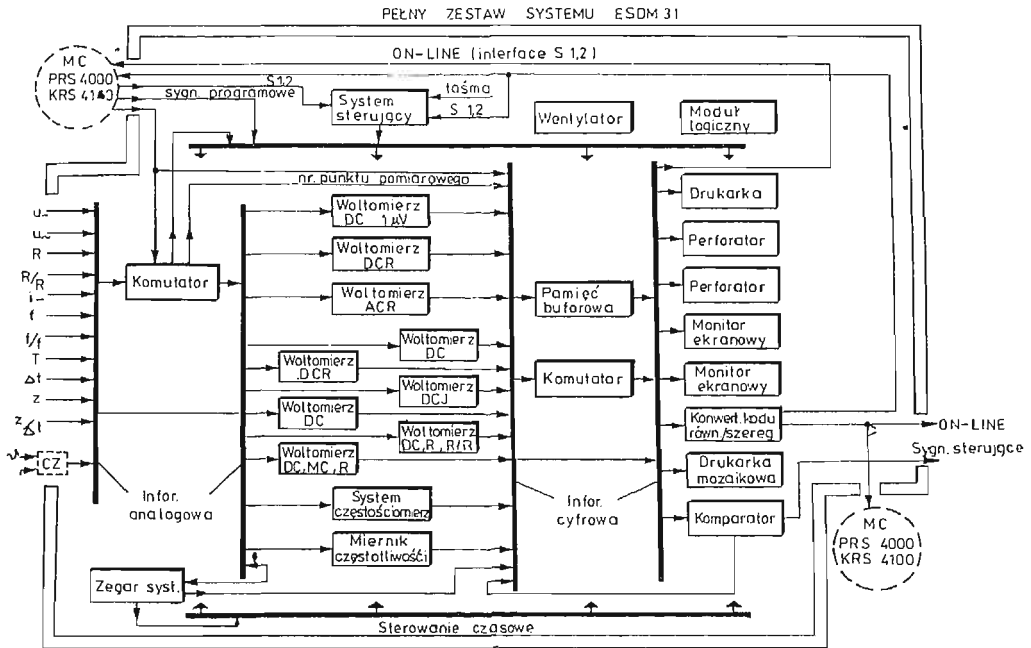
## 6. System pomiarowy typu on-line stosowany w pracach własnych

Będący do naszej dyspozycji kanał procesowy uzyskano poprzez podłączenie do minikomputera SM-3 układu pomiarowego typu ESD-31 produkcji NRD. Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rys. 6.1. Na rys. 6.2 przedstawiono natomiast schemat blokowy pośredniego oraz bezpośredniego podłączenia układu ESDM-31 do minikomputera SM-3. Zastosowane tu urządzenia łączności wykonane zostały we własnym zakresie na bazie translatorów TR-3 i TR-4. Szczegółowy opis realizacji zastosowanego połączenia SM-3 ESDM-31 omówiono w pracy [2].

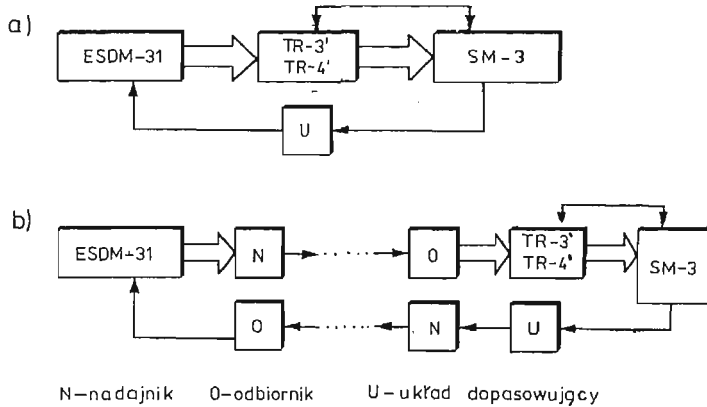
Wykonany kanał procesowy charakteryzują następujące parametry eksploatacyjne:

- maksymalna liczba połączeń urządzeń zewnętrznych 100, 200 lub 400,
- zakres pomiarowy:  $\pm 0,2$  V,  $\pm 2$  V,  $\pm 20$  V,  $\pm 200$  V,  $\pm 1$  kV,
- rozdzielność od 1 V do 100 nV stosownie do zakresu.





Rys. 6.1. Schemat blokowy systemu pomiarowo-informacyjnego ESDM-31 oraz kanału procesowego zrealizowanego na bazie minikomputera PRS-4000 lub KRS-4100 i układu ESDM-31



Rys. 6.2. Kanał procesowy ESDM-31-SM-3 przy bezpośrednim (a) oraz pośrednim (b) sprzężeniu z minikomputerem SM-3 lub SM-4

- czas przetwarzania 80 ms,
- czas komutacji 100 Hz.

Układ pomiarowy ESDM-31 ma możliwość bezpośredniego jak i pośredniego połączenia z minikomputerem PRS4000 lub KRS4100 produkcji NRD (por. rys. 6.1). Układ ten w ramach prac własnych przystosowano do współpracy z minikomputerem SM-3 i SM-4. Połączenie to, o dwukierunkowym przesyłaniu informacji stwarza możliwość zastosowania

w pełni skomputeryzowanego procesu badań modelowych, tzn. poza zbieraniem i opracowywaniem wyników pomiarów, pozwala także sterować odpowiednio skonstruowanym układem obciążającym. Pośrednie połączenie zrealizowano jako połączenie przewodowe oraz radiowe, wykorzystując posiadane radiotelefony. Aktualnie opracowywany jest wielokanałowy układ do radiowego przesyłu informacji.

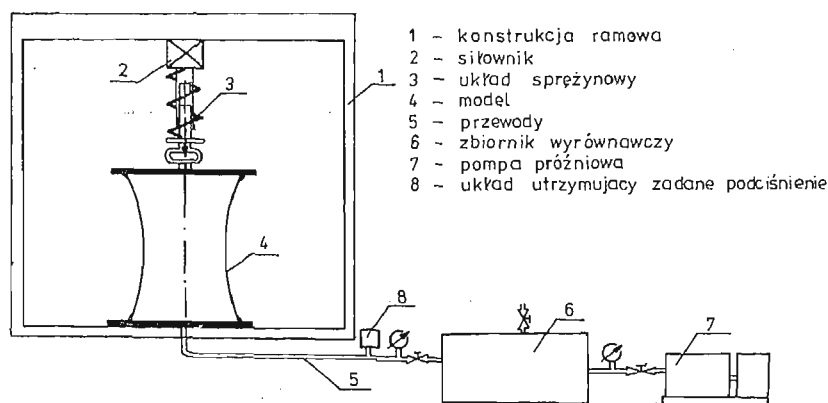
## 7. Przykłady zastosowań komputera SM-3 w badaniach własnych

### 7.1. Pomiar rozkładu temperatury w powłoce żelbetowej hiperboloidalnej chłodni kominowej.

Badania te przeprowadzono w latach 1974 - 79. Pomiarom poddano powłokę hiperboloidalnej chłodni kominowej w Elektrowni Rybnik. Do pomiaru temperatury powłoki zastosowano termistory NTC 110 rozmieszczając je na 5-ciu poziomach wzdłuż 8-miu południków. W każdym punkcie pomiarowym zastosowano po 5 termistorów równomiernie rozmieszczonych po grubości powłoki. Badania przeprowadzono trybem off-line stosując układ przełączająco-rejestrujący, skompletowany w własnym zakresie (por. rys. 4.1). Obszerne omówienie realizacji jak i wyników tych badań przedstawiono w pracy [31]. Autor w ramach badań opracował kompleksowy system programów na komputer do opracowywania wyników badań oraz do ustalania prognozy rozkładu temperatury w powłoce chłodni kominowej, położonej w dowolnym miejscu, w określonym dniu roku oraz w określonej godzinie doby. Uzyskane wyniki wykorzystane są w analizie statycznej nowo realizowanych obiektów a pozyskane doświadczenia przy planowaniu kompleksowych badań wieloprzewodowego komina oraz chłodni kominowej Elektrowni Opole.

7.2. Badania modelowe stateczności powłok hiperboloidalnych chłodni kominowych. Badania te prowadzone są w trybie off-line na dwukrzyżwiznowych modelach wykonanych z żywicy epoksydowej przy zastosowaniu uprzednio omówionych układów pomiarowych (por. rys. 4.2, 4.3 i 6.1). Schemat zastosowanego stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 7.1.

Modele powłoki, o ujemnej krzywiznie GAUSSA, poddane są obciążeniom osiowo-symetrycznym. Obciążenia te realizowane są wywołanym podciśnieniem oraz siłą pionową



Rys. 7.1. Schemat stanowiska badawczego; 1 — konstrukcja ramowa, 2 — siłownik, 3 — układ sprężynowy, 4 — model, 5 — przewody, 6 — zbiornik wyrównawczy, 7 — pompa próżniowa, 8 — układ utrzymujący zadane podciśnienie

przyłożoną do brzegów modelu. Niektóre z uzyskanych wyników badań omówione zostały między innymi w pracach [16, 17].

Zasadniczym celem tych badań jest określenie dolnych obciążeń krytycznych. Badania realizowane są również na modelach hiperboloidy jednopowłokowej o powłoce gładkiej, wzmocnionej uźebrowaniem oraz wykonanej w wersji powłoki trójwarstwowej, to znaczy powłoki składającej się z zewnętrznego oraz wewnętrznego płaszcza połączonego żebrami.

Uzyskane dotychczas wyniki badań utwierdziły nas w konieczności pełnej ich komputeryzacji jako że aktualnie stosowanie techniki badań w zdecydowany sposób wpływają na wielkość obciążeń krytycznych. Uzyskiwane siły krytyczne, posiadające z reguły zawyżone wartości, zdaniem autorów osiągać mogą inny charakter w przypadku zastosowania sterowanego obciążenia (niezależnego od stanu deformacji badanego modelu) czyli obciążenia nadającego za deformującym się modelem. Z tego też względu prowadzone są obecnie prace związane z realizacją wymienionych badań według trybu on-line. W tym celu wykonywany jest układ sterujący systemem obciążającym model. W skład układu wchodzi sterowany zawór do wywoływania podciśnienia oraz sterowany siłownik do pionowego obciążenia modelu. Układ ten charakteryzuje się tym, że umożliwia utrzymywanie stałego oddziaływania na model w trakcie jego deformacji.

**7.3. Badania komina Elektrowni Opole.** Badania te prowadzone są w skali modelowej, w trybie off-line oraz w naturze w trybie on-line. Zasadniczym celem tych badań jest ustalenie rzeczywistych, zmiennych w czasie obciążeń od wiatru, działających na obiekt jak też odpowiedzi obiektu na te oddziaływania. W trakcie badań prowadzone będą pomiary profilu prędkości oraz rozkładu ciśnienia wiatru na badany obiekt. Prowadzony będzie także jednoczesny pomiar odkształceń, przemieszczeń oraz rozkładu pola temperatury. Odkształcenia mierzone będą w zbrojeniu jak i betonie a całością pomiarów sterować będzie minikomputer na podstawie analizy wyników pomiarów prędkości wiatru uzyskiwanych z anemometru. Anemometr ten spełniał będzie więc funkcję tak zwanego czujnika próbkującego. W badaniach tych wykorzystywana jest aparatura omówiona w punkcie 6 niniejszego opracowania, oraz kanał procesowy CAMAC sprzężony z minikomputerem SM-3. Komin Elektrowni Opole o wysokości 250 m i średnicy 24 m wyposażono zatem w czujniki do pomiaru: temperatury, odkształceń, przemieszczeń oraz ciśnienia wiatru. Jako przetworniki pomiarowe zastosowano tu termistory, tensometry półprzewodnikowe czujniki strunowe oraz czujniki do pomiaru ciśnienia własnej konstrukcji. Łącznie na obiekcie zamontowano 600 przetworników pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż 12-tu południków. Wyniki pomiarów przesyłane będą drogą przewodową lub radiową do minikomputera SM-3 lub SM-4 usytuowanego w laboratorium.

Podjęcie kompleksowych badań komina Elektrowni Opole podyktowane zostało między innymi prototypowością obiektu, jego bliskością (kilkanaście km od Opolą) oraz dużą średnicą trzonu, istnieje możliwość uzyskania wyników dla dużych liczb Reynoldsa.

## 8. Wnioski i zakończenie

W produkowanej obecnie aparaturze pomiarowej dominującą rolę odgrywa technika cyfrowa. Technika ta pozwala przystosować (połączyć) aparaturę do współpracy z komputerem stała się możliwa dzięki:

- automatyzacji procesu pomiarowego,
- automatyzacji przetwarzania i opracowywania informacji pomiarowych,
- przystosowaniu układów pomiarowych do współpracy z innymi urządzeniami, a zwłaszcza z układami automatycznej kontroli i regulacji procesów,
- wprowadzenia komputera jako nadrzędnej jednostki kontroli i regulacji procesu pomiarowego,
- wprowadzeniu urządzeń łączności przystosowanych do przesyłania informacji cyfrowych.

Wprowadzanie nowych technik pomiarowych do prac eksperymentalnych napotyka jednak na szereg utrudnień natury obiektywnej. Wymienić tu należy przede wszystkim braki aparaturowe na rynku, tradycyjność w podejmowanych metodach badawczych, nieznaczne angażowanie specjalistów elektroników w zespołach badawczych.

Utrudnienia te możliwe są do przewyciężenia, względnie ich złagodzenia, jedynie na drodze tworzenia wyspecjalizowanych zespołów badawczych, w skład których wchodzić będą specjaliści elektronicy. Obecność ich w zespołach badawczych przyczyni się do tworzenia indywidualnej, specjalizowanej aparatury naukowo-badawczej, przystosowanej do podejmowanych problemów badawczych, a nie odwrotnie.

Na podkreślenie zasługuje także fakt, że wprowadzenie do badań specjalizowanej aparatury pomiarowej sprzężonej z minikomputerem, poza przyspieszeniem samych badań, stwarza nowe możliwości w samym procesie badawczym, jak i opracowywaniu wyników pomiarów.

#### Literatura cytowana w tekście

1. N. ABRAMSON, F. F. KUO, *Sieci telekomunikacyjne komputerów*, WNT, Warszawa, 1978.
2. W. ANTOSZAK, K. DRZEWIŃSKI, R. KALUŻA, K. SKRZYPULEC, *System pomiarowo-analizujący ESDM-31-SM-3*, Zeszyty Naukowe WSI w Opolu — (praca w druku).
3. W. ANTOSZAK, K. DRZEWIŃSKI, R. KALUŻA, K. SKRZYPULEC, *Układ pomiarowo-rejestrujący wykonany na bazie bloków P-226, P-227 oraz końcówki rejestrującej V-530 i DT105S*, Zeszyty Naukowe WSI w Opolu — (praca w druku).
4. K. BARANOWSKI, J. DZIKIEWICZ, M. SZATA, *System ODRA 1325-SMA w laboratorium badawczym*, V Konferencja Naukowa na temat Metody Komputerowe w Mechanice Konstrukcji, Karpacz—Wrocław, 6-9 maja 1981.
5. A. BEKEYG, W. J. KARPLUS, *Obliczenia hybrydowe*, WNT, W-wa 1976.
6. J. BENAT, A. G. PIERSOL, *Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych*, PWN, Warszawa, 1976.
7. R. CIESIELSKI, *O badaniach doświadczalnych zrealizowanych konstrukcji inżynierskich*, Materiały konferencyjne z Konferencji „Metody doświadczalnych badań własności mechanicznych zrealizowanych konstrukcji”, Kraków—Janowice, 1977.
8. R. CIESIELSKI, *Eksperymentalne badania konstrukcji*, Raport podstawowy w Sekcji VIII, II Kongresu Nauki Polskiej, Wyd. Pol. Krakowskiej, Zeszyt 1, Kraków, 1973.
9. R. CIESIELSKI, W. ZIOBRON, *Stan i perspektywy rozwojowe konstrukcji inżynierskich, mostowych i hydrotechnicznych*, Referat zbiorczy Podsekcji 1, Sekcji VIII na II Kongres Nauki Polskiej, Materiały Kongresowe T. VIII, Wyd. PAN, Warszawa, 1973.
10. C. EIMER, Z. WASZCZYŹYŃ, *Kierunki rozwoju teorii Konstrukcji inżynierskich*, Inżynieria i Budownictwo, 2, 1973.

11. A. DOMAGAŁA, *Przystosowanie rejestratora kompensacyjnego typu EKB do śledzenia zapisów*, Pomiary Automatyka Kontrola, Zesz. 4, 1975.
12. E. J. FILINOW, U. P. CJEHIK, *Programnoje obespjeczenije UWK SM-3*, Pribory i sistemy uprawljenija, 1977, nr 10.
13. H. HOSSDORF, *Statyka modelowa*, Arkady, Warszawa, 1975.
14. J. JAWORSKI, *Matematyczne podstawy metrologii*, WNT, W-wa, 1979.
15. M. KRAUSS, E. G. WOSCHNI, *Systemy pomiarowo-informacyjne*, PWN, Warszawa, 1979.
16. O. MATEJA, R. KALUŻA, A. LANGOSZ, *Doświadczalna analiza stateczności powłoki chłodni kominowej*, XXVI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZiTB w Krynicy, Wrocław—Krynica, 1980.
17. O. MATEJA, R. KALUŻA, A. LANGOSZ, *Doświadczalna analiza stateczności powłoki chłodni kominowej*, Archiwum Inżynierii Łądowej XXVII, z. 2/81
18. Materiały z Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Komputerowa Technika Pomiarowa”, zorganizowanej przez Oddz. Warszawski Elektroniki i Telekomunikacji SEP, Warszawa, 1978.
19. Materiały z Konferencji Naukowo-Technicznej pt. „Doświadczenia z wdrożenia komputerowych systemów sterowania procesami przemysłowymi” zorganizowanej przez SIiT Przem. Hutniczego w Polsce, Katowice, październik, 1976.
20. M. MAZUR, *Cybernetyka i charakter*, PAN, Warszawa, 1976.
21. B. N. NAUMOW, *Miezdunarodnaja sistema malych EWM*, Pribory i sistemy uprawljenija 1977, nr 10
22. N. B. NAUMOW, A. N. KABALJEWSKIJ, J. N. GŁUCHOW, M. A. OSTROWSKI, *Uprawljajuszczij wyzczislitelnyj kompleks SM-4*, Pribory i sistemy uprawljenija, 1979, nr 3.
23. H. ORŁOWSKI, *Komputerowe układy automatyki*, WNT, Warszawa, 1980.
24. W. ORZECHOWSKI, W. TRAPP, *Czytnik taśm z przetwarzaniem na zapis cyfrowy*, Sympozjum „Komputeryzacja badań doświadczalnych w mechanice konstrukcji”, Opole, 24 - 26 listopada 1977.
25. R. S. OŻAROWSKI, S. KORNACKI, *Minikomputery w pracach eksperymentalnych*, WNT, Warszawa, 1980.
26. B. I. ROSTOKIN, *Operacjonnyje sistemy realnego wsjemjeni UWK SM-3 i SM-4*, Pribory i sistemy uprawljenija 1977, nr 12.
27. M. DADKOWSKI, A. SZUBERT, *Czytnik oscylogramów typ ACCO-115*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna w Inst. Lotnictwa, Warszawa 10 - 12 listopada 1976.
28. S. I. SAMARSKIJ, *Organizacija efektywnych sistem uprawljenija na bazie UWK SM-3 i SM-4 s ispolowanijem periferii UWK-M-6000, M-7000, SM-1, SM-2*, Pribory i sistemy uprawljenija 1980, nr 12.
29. A. J. SOKOŁOW, E. W. KESZEK, *Principy postrojenija sriedstw swjazi s obiektem UWK SM-3*, Pribory i sistemy uprawljenija 1977, nr 11.
30. Z. ŚNIADKOWSKI, *Zastosowanie metod tensometrii elektrooporowej do pomiarów wielkości mechanicznych w budownictwie*, Prace naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, seria Monografie, Wyd. ITB, W-wa 1978.
31. L. TARCYŃSKI, *Analiza rozkładu temperatury w powloce żelbetowej hiperboloidalnej chłodni kominowej*, Raport nr PRE-38/80 Instytutu Inż. Łąd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław, 1980.
32. C. WEITZMAN, *Systemy minikomputerowe — struktura i zastosowanie*, WNT, Warszawa, 1979.

## Р е з ю м е

ПРИМЕНЕНИЕ МИНИКОМПЮТЕРА В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОПЫТАХ  
В МЕХАНИКЕ

В работе показано общие принципы организации измерений и информационных систем. Кроме того представлено собственный опыт выработанный во время применения миникомпютера в экспериментальных дмерениях в механике.

## S u m m a r y

MINICOMPUTER APPLICATION IN EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS IN  
MECHANICS

In the paper general principles of organization of measurement and information systems have been presented.

Also own experience gained during minicomputer application in experimental investigations in mechanics has been shown.

*Praca została złożona w Redakcji dnia 29 października 1981 roku.*

---