

440

BE 10

OSRODEK POMIAROW RUCHU I CZASU

Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. Rafał Więcko

Wykonawcy:

"Podsumowanie działań PIAP dotyczących współpracy z firmą Motorola w zakresie promocji i zastosowania jej produktów /mikroprocesory"

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

PIAP

ZASTĘPCA DYREKTORA  
d/s Badań i Rozwojowych

dr inż. Jan Jabłkowski

Kierownik Ośrodka Pomiarów  
Ruchu i Czasu

mgr inż. Arkadiusz Cybulski

Pracę zakończono dnia 15.06.95

Nr arch. 7217

Nr zlecenia S1555/ORC

**Analiza deskryptorowa**

**Abstrakt**

**Tytuły poprzednich sprawozdań**

**Rozdzielnik**

Egz. 1. .... OIN .....

Egz. 2. .... ORC .....

Egz. 3. ....

## SPRAWOZDANIE

z pracy pt.

### **"Podsumowanie działań PIAP dotyczących współpracy z firmą Motorola w zakresie promocji i zastosowania jej produktów (mikroprocesory)"**

1. Pracę wykonano w ramach umowy o dzieło nr 174/95. Jej zakres obejmował przegląd opracowanych w ORC konstrukcji, wykorzystujących procesory firmy Motorola i podsumowanie dotychczasowej współpracy z firmą Motorola, artykuł "System bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych", zgłoszony do publikacji w Biuletynie PIAP i przygotowanie referatu "Systemu bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych" na VIII Krajową Konferencję Metrologii.
2. W PIAP-ORC opracowano szereg pakietów, wykorzystujących procesory firmy Motorola (HC05, HC11, 68000, 68070, 68302, HC16). Charakteryzuje je architektura zamknięta (embedded controllers, single board computers), dostosowana do potrzeb urządzeń konstruowanych w ORC. Pakiety wykorzystane zostały do opracowania między innymi modułu przetwarzania przepływomierza masowego, kamer liniijkowych CCD i sterownika sieci kamer CCD stanowiska do bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych. Szczegółową charakterystykę pakietów przedstawiono w artykule "Wybrane mikrokontrolery firmy Motorola w zastosowaniach przemysłowych" (Załącznik nr 1).
3. Prace zmierzające do wykorzystania procesorów firmy Motorola rozpoczęły się w 1989r, gdy zakup tych procesorów stał się możliwy. Wcześniejsze ograniczenia COCOM uniemożliwiały ich stosowanie. Równocześnie firma Motorola podjęła działania mające na celu szersze rozpropagowanie swoich produktów na polskim rynku. Opracowując kolejne pakiety nawiązano kontakty firmą ELBATEX, dealerem Motoroli na obszar Polski, a następnie bezpośrednio z przedstawicielem Motoroli na obszar Europy Środkowej p.dr M. Skarbkiem-Kozietulskim. W wyniku kolejnych prezentacji opracowanych w PIAP-ORC pakietów i rozmów charakteryzujących działania PIAP, firma Motorola udostępniła bezpłatnie zestaw uruchomieniowy ADS302, umożliwiający kontynuowanie prac badawczych w zakresie wykorzystania procesora 68302 firmy Motorola do konstrukcji rozproszonych układów automatyki. Jednocześnie pracownicy PIAP uzyskali możliwość uczestnictwa w cyklu seminariów organizowanych przez firmę Motorola, poświęconych ofercie produkcyjnej Motoroli na rynku polskim.

4. W PIAP-ORC opracowano system bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych dla ZPW "PROSPAN" w Wieruszowie. Jest to system o architekturze rozproszonej, opracowany od podstaw w PIAP-ORC, wykorzystujący procesory firmy Motorola lub pochodne (HC11, 68070). System został szerzej omówiony w artykule "System bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych", przyjętym do publikacji w Biuletynie PIAP (Załącznik nr 2).
  
5. Referat "System bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych" został zgłoszony do prezentacji na VIII Krajowej Konferencji Metrologii i zakwalifikowany przez organizatorów do przedstawienia w ramach sesji plakatowej w Sekcji 5 oraz krótkiej prezentacji oralnej (Załącznik nr 3).

## **Załącznik nr 1**

### **Wybrane mikrokontrolery firmy Motorola w zastosowaniach przemysłowych**

- charakterystyka opracowanych w PIAP-ORC pakietów, wykorzystujących procesory firmy Motorola

Rafał Więcko  
Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów PIAP

W artykule omówiono opracowane w PIAP-ORC pakiety wykorzystujące procesory firmy Motorola.

## **Wybrane mikrokontrolery firmy Motorola w zastosowaniach przemysłowych**

W Ośrodku Pomiarów Ruchu i Czasu (ORC) PIAP opracowywane są specjalizowane urządzenia pomiarowe, przeznaczone do pracy ciągłej w warunkach przemysłowych. Z uwagi na specyfikę tych urządzeń wytwarzane są pojedyncze egzemplarze lub bardzo krótkie serie. Wcześniejsze opracowania realizowano w oparciu o dostępne na rynku polskim procesory firmy Intel (80C31, 8088, 80C186). Od roku 1989, gdy zakup procesorów Motoroli stał się możliwy, opracowano szereg pakietów wykorzystujących te procesory wraz z niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym i aplikacyjnym. Z uwagi na specyfikę prac ORC wszystkie pakiety charakteryzuje architektura zamknięta (single board computers, embeded controllers). Dotychczas opracowano pakiety z następującymi procesorami:

- HC05 (C8, C5, K1 wraz z niezbędnymi programatorami),
- HC11 (A1, E1, F1),
- HC16Z1,
- 68000,
- 68070 (Philips/Signetics, 68000 CPU),
- 68302.

ORC przewiduje opracowanie pakietów z procesorami 68306, 68331/332 i 68360, co umożliwi to w pełni swobodny dobór procesora do potrzeb realizowanych aplikacji.

### **1. Mikrokontrolery rodziny HC05**

Są to 8-bitowe mikrokontrolery o szerokim zakresie napięć zasilania (3-5.5V) i małym poborze prądu (typ. 3mA). Pobór mocy może być dodatkowo ograniczony przez zmniejszenie częstotliwości oscylatora. Z tego powodu znakomicie nadają się do wszelkich przyrządów o zasilaniu bateryjnym. Mikrokontrolery te dostarczane są w postaci układów EPROM lub OTP (one time programmable). Większe partie (powyżej 1000 szt.) mogą być oprogramowywane maską w procesie produkcji.

Architektura tych mikrokontrolerów jest uproszczona. Użytkownik ma do dyspozycji pojedynczy 8-bitowy akumulator (A), 8-bitowy rejestr indeksowy (IX), wskaźnik stosu (SP), licznik rozkazów (PC) i rejestr stanu (CCR). Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 64 kB. Mikrokontrolery rodziny HC05 nie mogą adresować zewnętrznych urządzeń (dodatkowe peryferia, pamięci). Lista instrukcji obejmuje rozkazy przestań pomiędzy rejestrami, rejestrami i pamięcią, operacje arytmetyczne, w tym 8-bitowe mnożenie całkowitoliczbowe, logiczne, bitowe, skoki warunkowe itp. Dostępne są tryby adresowania natychmiastowego, bezpośredniego 8-bitowego (strona zerowa), rozszerzonego 16-bitowego, pośredniego i indeksowego. Dodatkowo dostępne są dwa rodzaje redukcji poboru mocy (WAI - wait for interrupt, STOP).

Motorola oferuje ponad sto wariantów wykonania mikrokontrolerów rodziny HC05, różniących się wbudowanymi peryferiami (np. przetworniki ac, pamięć EEPROM, wielofunkcyjny 16-bitowy timer z rejestracją czasu zdarzeń zewnętrznych lub generacją stanów wyjściowych, układ wyjść z modulacją szerokości impulsu PWM, układ generacji przerwań periodycznych RTI, asynchroniczny port szeregowy SCI, synchroniczny port szeregowy SPI, sterowniki wyświetlaczy LCD, układ poprawności funkcjonowania oscylatora i procesora COP itp.). Większość mikrokontrolerów rodziny HC05 przeznaczonych do programowania przez użytkownika (EPROM, OTP) ma wbudowane mechanizmy samoprogramowania - automatycznie przepisują zawartość zewnętrznej pamięci EPROM do wewnętrznej. Program zapisany w wewnętrznej pamięci EPROM jest niedostępny z zewnątrz, co dostatecznie chroni opracowane urządzenie przed powieleniem.

### **1.1. Mikrokontrolery serii HC05Cx**

Układy serii HC05Cx mają od 4 do 16 kB pamięci ROM/EPROM, 176 do 352 bajtów pamięci RAM, 128 bajtów pamięci EEPROM (HC05C5). W ich architekturę wbudowano również 16-bitowy timer, z pojedynczym wejściem rejestrującym zdarzenia zewnętrzne i jednym wyjściem, którego stan może być zmieniany w funkcji zawartości timera, 31 linii we/wy (18 dla C0), asynchroniczny port szeregowy SCI, synchroniczny port peryferyjny SPI lub układ interfejsu I2C, układ kontroli poprawności funkcjonowania procesora COP.

Mikrokontrolery serii Cx znalazły zastosowanie w wielu urządzeniach powszechnego użytku (pagery, telefony komórkowe, odtwarzacze CD, telewizory, pralki automatyczne, zabawki itp.), motoryzacji (deski rozdzielcze, klimatyzacja, sterowanie podnoszeniem i opuszczaniem szyb itp.). W zastosowaniach przemysłowych są przydatne do konstrukcji przyrządów pomiarowych o zasilaniu bateryjnym i modułów pomiarowych lub sterujących systemów rozproszonych.

- piezoelektryczny przetwornik akustyczny,
- stabilizator +5V,

#### - mcu05k1-20:

- HC05K1S, 4MHz,
- 2 wyjścia mocy ( MTD30N55EL),
- stabilizator +5V.

## 2. Mikrokontrolery rodziny HC11

Są to 8-bitowe mikrokontrolery ogólnego przeznaczenia o efektywnej liście rozkazów. Podobnie jak w przypadku rodziny HC05 wykonywanych jest wiele wariantów, o zróżnicowanych zasobach wewnętrznych. Procesory mają wbudowane mechanizmy zabezpieczeń sprzętowych (watchdog, detekcja błędnych kodów instrukcji, generacja sygnałów dostępu, itp). Zależnie od wersji mogą współpracować z wewnętrzną, albo zewnętrzną pamięcią programu. Z uwagi na mały pobór prądu (typ.10-20mA) mogą być wykorzystywane w przyrządach o zasilaniu bateryjnym.

Użytkownik ma do dyspozycji dwa 8-bitowe akumulatory (A i B), które mogą być wykorzystywane jako pojedynczy 16-bitowy akumulator (D), dwa 16-bitowe rejestry indeksowe (IX, IY), 16-bitowy wskaźnik stosu (SP), 16-bitowy licznik rozkazów (PC) i 8-bitowy rejestr stanu (CCR). Przestrzeń adresowa większości mikrokontrolerów rodziny HC11 jest ograniczona do 64 kB. Nieliczne procesory mogą adresować zewnętrzną przestrzeń do 1Mb, za pomocą wewnętrznego układu przełączania banków pamięci (np. HC11K1). Produkowane są również procesory z wbudowanym stałoprzecinkowym kooprocesorem arytmetycznym i dwukanałowym sterownikiem DMA (np. HC11M2). Lista instrukcji obejmuje rozkazy przesłań pomiędzy rejestrami, rejestrami i pamięcią, operacje arytmetyczne, w tym 8-bitowe mnożenie i 16-bitowe dzielenie całkowitoliczbowe, operacje logiczne, bitowe, skoki warunkowe itp. Dostępne są tryby adresowania natychmiastowego, bezpośredniego 8-bitowego (strona zerowa), rozszerzonego 16-bitowego, pośredniego i indeksowego. Dodatkowo wprowadzono dwa rodzaje redukcji poboru mocy (WAI, STOP).

### 2.1. Mikrokontrolery serii HC11Ax/Ex

Układy serii HC1Ax/Ex mają od 0 do 32kB pamięci ROM/EPROM, od 256 bajtów do 2kB pamięci RAM, od 512 bajtów do 2 kB pamięci EEPROM. Procesory mogą pracować jako mikrokontrolery o zamkniętej architekturze lub adresować urządzenia zewnętrzne (ROM, RAM, PIO) za pomocą 8-bitowej multipleksowanej magistrali danych. Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 64 kB. Wbudowany 16-bitowy timer ma 3/4 linie wejściowe rejestrujące zdarzenia zewnętrzne IC i 4/5 linii wyjściowych OC, których stan



W ORC opracowano programatory i pakiety uruchomieniowe wybranych mikrokontrolerów serii HC05Cx wraz z niezbędnym oprogramowaniem:

**- mcu05c8-10:**

- HC05C8S, 4MHz,
- EEPROM 59C11 (SPI),
- układ zegara czasu rzeczywistego RTC 68HC68T1 (SPI),
- układ interfejsu RS232 (SCI),
- układ generacji napięcia kontrastu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD,
- stabilizator +5V,

**- mcu05c5-10:**

- HC05C5S, 4MHz,
- układ interfejsu RS232 (software emulated SCI),
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (MAX698/694),
- 4 wyjścia mocy ( MTD30N55EL),
- stabilizator +5V.

## **1.2. Mikrokontrolery serii HC05Kx**

Układy serii HC05Kx mają od 512 do 920 bajtów pamięci ROM/EPROM, od 32 do 64 bajtów pamięci RAM, 15-stopniowy timer wielofunkcyjny, 10 linii we/wy, układ kontroli poprawności funkcjonowania procesora COP, układ generacji przerwań periodycznych RTI (K3), dodatkową 64-bitową pamięć EPROM ( personality EPROM) i układ generacji przerwań klawiatury KBI.

Mikrokontrolery serii Kx, wykonywane w obudowach DIP16 i SOIC16, należą do najmniejszych produkowanych mikrokontrolerów ogólnego przeznaczenia. Znalazły zastosowanie w prostych urządzeniach powszechnego użytku i motoryzacji (sterowanie podnoszeniem i opuszczaniem szyb, alarmy itp.). W zastosowaniach przemysłowych są przydatne do konstrukcji prostych układów we/wy.

W ORC opracowano programator mikrokontrolerów HC05K1 i pakiety aplikacyjne wraz z niezbędnym oprogramowaniem:

**- mcu05k1-10:**

- HC05K1S, 4MHz,
- 6 przyciskowa, multipleksowana klawiatura funkcyjna,
- 2 diody sygnalizacyjne LED,

może być sterowany zawartością timera, układ generacji przerwań periodycznych RTI oraz 8-bitowy bramkowany timer/licznik zdarzeń zewnętrznych (PULSE ACCUMULATOR). Mikrokontrolery wyposażono również w asynchroniczny port szeregowy SCI, synchroniczny szeregowy port peryferyjny SPI, 8-kanalowy 8-bitowy przetwornik ADC, od 22 do 38 linii we/wy, układ kontroli poprawności funkcjonowania COP.

Układy serii HC11Ax/Ex znajdują zastosowanie w magnetowidach, kontrolerach dysków twardych, ręcznych kamerach wideo, telefonach komórkowych, motoryzacji. W zastosowaniach przemysłowych wykorzystywane są do konstrukcji przyrządów pomiarowych o zasilaniu sieciowym i bateryjnym, modułów pomiarowych i sterujących rozproszonych systemów automatyki.

W ORC opracowano pakiety z różnymi wariantami tych mikrokontrolerów i niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym. Na bazie procesorów serii HC11A1/E1 opracowano modele kilku urządzeń pomiarowych, przeznaczonych do zabudowy w obudowach tablicowych NGS96 (np. moduł przetwarzania do przepływomierza masowego):

#### **- mpu11A1-10:**

- HC11A1P, 8MHz,
- EPROM 8-32kb,
- RAM 8/32kb,
- 2x82C55A (48 i/o),
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (LM311),

#### **- mpu11E1-10:**

- HC11E1FN, 8MHz,
- EPROM 8-32kb,
- RAM 8/32kb,
- 2x82C55A (48 i/o),
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (MAX698),
- pakiet dostosowany do obudów tablicowych NGS96.

## **2.2. Mikrokontrolery serii HC11Fx**

Mikrokontroler HC11F1 ma 1 kB pamięci RAM i 512 bajtów EEPROM. Procesor współpracuje z zewnętrzną pamięcią EPROM za pomocą 8-bitowej niemultipleksowanej magistrali danych. Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 64 kB. Procesor generuje 4 sygnały dostępu do zewnętrznych urządzeń peryferyjnych. Wbudowany 16-bitowy timer ma 3/4 linie wejściowe rejestrujące zdarzenia zewnętrzne IC i 4/5 linii wyjściowych OC, których stan może być sterowany zawartością timera, układ generacji przerwań

periodycznych RTI oraz 8-bitowy bramkowany timer/licznik zdarzeń zewnętrznych (PULSE ACCUMULATOR). Mikrokontroler wyposażono również w asynchroniczny port szeregowy SCI, synchroniczny szeregowy port peryferyjny SPI, 8-kanałowy 8-bitowy przetwornik ADC, 46 linii we/wy, układ kontroli poprawności funkcjonowania COP.

Układ HC11F1 znajduje zastosowanie w odtwarzaczach CD, kontrolerach dysków twardych, ręcznych kamerach wideo, stacjach telefonów bezprzewodowych itp. W zastosowaniach przemysłowych umożliwia konstruowanie przyrządów pomiarowych o zasilaniu sieciowym i bateryjnym, modułów pomiarowych i sterujących rozproszonych systemów automatyki.

W ORC opracowano pakiety z mikrokontrolerem HC11F1 i niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym. W oparciu o procesor HC11F1 wykonano kamery linijkowe CCD, ręczny terminal operatorski o zasilaniu bateryjnym, rodzinę tablicowych przyrządów pomiarowych w standardowych obudowach NGS96, moduł wyświetlacza obiektowego LED w obudowie tablicowej (NGS144x72):

**- mpu11F1-10:**

- HC11F1FN, 8MHz,
- EPROM 8-32kb,
- RAM 1kb on-chip,
- układ zegara czasu rzeczywistego RTC 68HC68T1 (SPI),
- układ interfejsu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD typu HD44780,
- układ generacji napięcia kontrastu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD,
- 4 izolowane galwanicznie wejścia dc,
- izolowany galwanicznie układ interfejsu szeregowego RS232/485,
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (MAX698/694),
- pakiet dostosowany do obudów tablicowych NGS96,

**- pgm11F1-10:**

- HC11F1FN, 8MHz,
- EPROM 8-32kb,
- RAM 8/32kb + 1kb on-chip,
- układ zegara czasu rzeczywistego RTC 68HC68T1 (SPI),
- układ interfejsu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD typu HD44780,
- układ generacji napięcia kontrastu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD,
- układ interfejsu szeregowego RS232,
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (MAX698/694),
- pakiet ręcznego terminala operatorskiego dostosowany do obudów serii BOS900 firmy Bopla (RFN).

### 3. Procesory rodziny 68000

W skład 16/32-bitowej rodziny 68000 wchodzi zarówno procesory ogólnego przeznaczenia (68000/10/20/30/40), wykonywane obecnie w wielu wariantach, jak też mikrokontrolery serii 683xx, z wbudowanymi układami peryferyjnymi (np. timery, porty szeregowo, kontrolery DMA, interfejs drukarki itp.), ułatwiającymi obsługę zadań komunikacyjnych, pomiarowych i sterowania.

#### 3.1. Procesor 68000

Jest to podstawowa jednostka centralna rodziny 68000. W zastosowaniach ogólnych wyparły go nowsze konstrukcje serii 020, 030, 040, dobierane zależnie od potrzeb zadania. W zastosowaniach zamkniętych (embedded controllers) stosowane są procesory serii 683xx lub 68ECxxx. W całej rodzinie zachowano podstawową architekturę procesora 68000, rozbudowując ją sukcesywnie w miarę postępu techniki wytwarzania układów wielkiej skali integracji.

W architekturę procesorów serii 68000 wbudowano szereg mechanizmów zabezpieczających poprawność funkcjonowania i wykonywania programu, od zabezpieczeń poprawności dostępu w obrębie pojedynczego cyklu maszynowego (BERR - Bus Error, AERR - Address Error), przez detekcję kodu nieimplementowanych instrukcji, dwa tryby pracy - nadzorczy, o pełnym dostępie do wszystkich rozkazów i użytkownika, w którym nie można wykonywać instrukcji krytycznych (np. HALT, RESET), podział przestrzeni adresowej (dane, kod, przerwania), do pracy krokowej włącznie. Procesory serii 683xx mają w pełni zintegrowane układy zabezpieczeń - np. układ automatycznej generacji sygnału błędu magistrali BERR, po przekroczeniu zadeklarowanego czasu oczekiwania na zakończenie cyklu maszynowego, układ generacji sygnałów dostępu do urządzeń zewnętrznych, watchdog, układ generacji błędu adresacji AERR, wewnętrzną generację przerw wektorowych itp., co zdecydowanie upraszcza architekturę systemu, zmniejszając liczbę zewnętrznych elementów otoczenia procesora, a tym samym zwiększając niezawodność sprzętową i programową opracowanego urządzenia.

Użytkownik ma do dyspozycji 8 32-bitowych rejestrów danych (D0...D7), wykorzystywanych zarówno w operacjach arytmetycznych jak też adresowych, 7 32-bitowych rejestrów adresowych (A0...A6), 2 32-bitowe wskaźniki stosu (nadzorczy SSP i użytkownika USP, widziane jako rejestr adresowy A7), 32-bitowy licznik rozkazów (PC) i 16-bitowy rejestr stanu (CCR). Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 24 bitów, magistrala danych do 16 bitów. Wykonywana jest również wersja z 8-bitową magistralą danych (68008). Procesory nowej generacji serii podstawowej HC001, EC000 posiadają wbudowany mechanizm statycznego konfigurowania szerokości

magistrali danych - 8 lub 16 bitów. Procesory serii 020, 030, 040 i większość 683xx mają wbudowane mechanizmy dynamicznej zmiany szerokości magistrali danych (8/16/32 bity) i pełną 32-bitową przestrzeń adresową (zależnie od wykonania). Procesor posiada 7-poziomowy układ przerwań wektorowych, z mechanizmem wewnętrznej generacji wektorów (autovector). Użytkownik ma dostęp do 256 wektorów, ulokowanych w przestrzeni adresowej danych (RAM). Lista rozkazów obejmuje wszystkie podstawowe operacje arytmetyczne i logiczne, w tym mnożenie i dzielenie całkowitoliczbowe, pola bitowe itp. Szczególnie istotne są tryby adresowania, obejmujące oprócz podstawowych operacji, adresację pośrednią z predekrementacją i postinkrementacją rejestrów, wielorejestrową adresację indeksową, znakomicie ułatwiające dostęp i przetwarzanie danych.

W ORC opracowano pakiet jednostki centralnej z procesorem MC68000 i niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym. Znalazł zastosowanie w konstrukcji 16-kanałowego rejestratora sygnałów analogowych (data logger), współpracującego z drukarką igłową. Obecnie pakiet ten nie jest już stosowany - wyparły go nowsze konstrukcje:

**- mpu68k-01:**

- MC68000P8, 8MHz,
- EPROM 16-128kb,
- RAM 16/64 kb,
- 3x68230 (84 i/o),
- kontroler komunikacyjny 68681,
- układ kontroli poprawności cyklu magistrali (BERR timeout),
- wielopoziomowy układ generacji przerwań zewnętrznych.

**3.2. Procesor 68070**

Jest to 16/32-bitowy procesor produkowany przez firmę Philips, zawierający jednostkę centralną 68000/010. W jego architekturę wbudowano dodatkowe urządzenia peryferyjne (układ zarządzania pamięcią MMU, dwukanałowy kontroler DMA, asynchroniczny port szeregowy UART, interfejs szeregowy I2C i dwa wielofunkcyjne 16-bitowe timery).

W ORC opracowano trzy pakiety jednostek centralnych z procesorem SCC68070 i niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym. Pakiety zostały wykorzystane do opracowania oprogramowania wyświetlacza graficznego LCD (LM238B) i sterownika stanowiska do pomiaru grubości płyt wiórowych dla zakładu ZPW PROSPAN w Wieruszowie. Wraz z dodatkowym pakietem, zawierającym wiekoprotokołowy kontroler komunikacyjny SCN68562, procesor 68070 obsługuje sieć pomiarową, złożoną z 6 kamer liniowych CCD (z mikrokontrolerami HC11), współpracując z terminalem

operatora (IBM PC) i dodatkowym ręcznym terminalem operatorskim (HC11), umożliwiającym dostęp serwisowy:

**- mpu70-01:**

- SCC68070, 20MHz,
- EPROM 16-128kb,
- RAM 16/64 kb,
- EEPROM 8582 (i2c),
- układ zegara czasu rzeczywistego 8583 (i2c),
- 3x68230 (84 i/o),
- wieloprotokołowy kontroler komunikacyjny 68562,
- układ kontroli poprawności cyklu magistrali (BERR timeout),
- układ generacji przerw zewnętrznych w trybie autovector,
- watchdog z układem kontroli poprawności napięć zasilania (MAX694),

**- mpu70-10/20:**

- SCC68070, 20MHz,
- EPROM 16-128kb,
- RAM 16/64 kb,
- EEPROM 8582 (i2c),
- układ zegara czasu rzeczywistego 8583 (i2c),
- 2x68230 (56 i/o),
- złącze ekspansji pakietu komunikacyjnego,
- układ kontroli poprawności cyklu magistrali (BERR timeout),
- układ generacji przerw zewnętrznych w trybie autovector,
- układ interfejsu RS232,
- watchdog z układem kontroli poprawności napięć zasilania (MAX694).

### **3.3. Procesor 68302**

Jest to mikrokontroler komunikacyjny, opracowany na bazie procesora 68000. Wbudowany 3-kanałowy procesor komunikacyjny typu RISC implementuje wszystkie podstawowe protokoły ASYNC, BISYNC, HDLC, DDCMP, X.25. Komunikacja między procesorami odbywa się za pomocą wbudowanej pamięci dwudostępnej RAM i zespołu rejestrów. Wprowadzono pełną modularyzację wewnętrznych urządzeń peryferyjnych. Procesor 68302 ma dwa 16-bitowe timery, układ watchdoga, jednokanałowy kontroler DMA, układ generacji sygnałów dostępu do urządzeń zewnętrznych z mechanizmami kontroli poprawności cyklu maszynowego, układ odświeżania pamięci DRAM, układ generacji wielopoziomowych przerw wektorowych, układ kontroli poboru mocy, dwa 16-bitowe porty równoległe, współużywane przez CPU i procesor komunikacyjny. Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 24 bitów. Szerokość magistrali danych definiowana jest statycznie (8/16 bitów). Lista rozkazów i tryby adresowania w pełni odpowiadają

możliwościom procesora 68000. Możliwe jest również wykorzystywanie procesora 68302 wyłącznie jako peryferyjnego układu komunikacyjnego, dzięki mechanizmowi wyłączania CPU oraz implementowanie innych protokołów komunikacyjnych (np. CAN, Profibus) za pomocą oprogramowania firmowego procesora RISC, ładowanego do wewnętrznej pamięci dwudostępnej RAM.

Procesor 68302 wykorzystywany jest do projektowania urządzeń, które mogą pełnić funkcje koncentratorów specjalizowanych sieci komunikacyjnych (w tym jednostki nadrzędnej rozproszonych systemów pomiarowych), albo urządzeń podporządkowanych, realizujących zarazem wybrane funkcje pomiarowe i sterowania.

W ORC opracowano pakiet jednostki centralnej MC68302 wraz z niezbędnym oprogramowaniem uruchomieniowym. Procesor ten zastąpi w nowych konstrukcjach stosowany dotychczas SCC68070 firmy Philips:

#### **- mpu302-10:**

- MC68302FC16, 16 MHz,
- 16 bitowa magistrala danych,
- EPROM 16kb-2Mb,
- RAM 16kb-1Mb, z podtrzymaniem zasilania,
- EEPROM 59C11 (SPI),
- układ zegara czasu rzeczywistego 68HC68T1 (SPI),
- 2x68230 (56 i/o),
- złącze ekspansji pakietu komunikacyjnego,
- układ interfejsu RS232,
- watchdog z układem kontroli poprawności napięć zasilania (MAX694).

#### **4. Mikrokontrolery rodziny HC16**

Są to mikrokontrolery 16-bitowe, stanowiące element pośredni pomiędzy 8-bitową rodziną HC11 i 32-bitową 683xx. Podobnie jak w przypadku poprzednich mikrokontrolerów wykonywanych jest wiele wariantów, różniących się specjalizowanymi peryferiami (np. w architekturę mikrokontrolera HC16Y1 wbudowano 16-kanalowy procesor uzależnień czasowych TPU, umożliwiający efektywną obsługę zdarzeń czasowych bez ingerencji CPU). W odróżnieniu od HC05 i HC11 układom serii HC16 nadano w pełni modularny charakter. Układy wewnętrzne są kompatybilne z peryferiami rodziny 683xx, co ułatwia zastąpienie mikrokontrolera HC16 procesorami serii 683xx (np. 68332); w sytuacji, gdy jego moc obliczeniowa jest zbyt mała do potrzeb aplikacji.

Użytkownik ma do dyspozycji dwa akumulatory 16-bitowe (E i D - utworzony z połączenia 8-bitowych akumulatorów A i B, jak w HC11), trzy 16-

bitowe rejestry indeksowe IX, IY i IZ, 16-bitowy licznik rozkazów (PC) i 16-bitowy wskaźnik stosu (SP). Przestrzeń adresowa jest ograniczona do 1MB. 16-bitowe rejestry (PC, SP, IX, IY, IZ) wymuszają podział przestrzeni adresowej na banki po 64 kB. Przełączanie banków pamięci jest niewidoczne dla użytkownika. Lista instrukcji jest rozszerzeniem rozkazów procesorów HC11. Z uwagi na odmienne usytuowanie tablicy wektorów przerwań, typowe dla procesorów rodziny 68xxx, tryb adresacji bezpośredniej strony zerowej procesorów HC11 zastąpiono w HC16 adresacją indeksową z wykorzystaniem rejestru IZ. Dodatkowo procesor ma tryb wielorejestrowej adresacji indeksowej za pomocą zawartości akumulatora E. Wprowadzone zostały również instrukcje przesłań blokowych. Wbudowane mechanizmy DSP (Digital Signal Processing) umożliwiają wykorzystanie mikrokontrolerów serii HC16 do konstrukcji efektywnych regulatorów PID, filtrów cyfrowych itp.

W ORC opracowano pakiet mikrokontrolera HC16Z1. W chwili obecnej opracowywane jest niezbędne oprogramowanie uruchomieniowe i aplikacyjne:

**- mpu16Z1-10:**

- HC16Z1FC16, 16.7 MHz,
- 8-bitowa magistrala danych,
- EPROM 8kb-1Mb,
- RAM 8-512kb + 2kb on-chip,
- układ zegara czasu rzeczywistego RTC 68HC68T1 (SPI),
- układ interfejsu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD typu HD44780,
- układ generacji napięcia kontrastu wyświetlaczy alfanumerycznych LCD,
- układ interfejsu szeregowego RS232/485, izolowany galwanicznie,
- układ kontroli poprawności napięć zasilania (MAX698/694),
- pakiet dostosowany do obudów tablicowych NGS96.

## **5. Podsumowanie**

Należy podkreślić, że wybór procesorów Motoroli do realizacji prac w ORC nie był przypadkowy. O ich wykorzystaniu zdecydowały zalety użytkowe - zarówno architektura, lista rozkazów, jak też wbudowane peryferia tych procesorów są lepiej dostosowane do wymagań stawianych urządzeniom pracy ciągłej w warunkach przemysłowych, oferując konstruktorom szereg zabezpieczeń wewnętrznych, zapewniających poprawność pracy. Listy rozkazów charakteryzują ułatwienia w dostępie do danych i operacji arytmetycznych, a co najistotniejsze, zachowana jest spójność oprogramowania w obrębie podstawowych rodzin procesorów. Równie ważna jest ich modularność i kompatybilność wbudowanych peryferiów. Ponieważ w chwili obecnej nie występują uprzednie trudności w zakupie ani samych procesorów, ani oprogramowania i literatury, wybór tych procesorów do



konstrukcji nowych urządzeń należy uznać za w pełni uzasadniony. Równocześnie Motorola wprowadza kolejne warianty mikrokontrolerów, różniące się wbudowanymi peryferiami, dostosowanymi do potrzeb sterowania różnorodnymi urządzeniami wykonawczymi, co w sposób istotny ułatwia opracowanie nowych konstrukcji.

Stosunkowo szeroki zakres prac podjętych w ORC nad opracowaniem szeregu pakietów wykorzystujących różne procesory Motoroli, umożliwia obecnie swobodny dobór procesora do potrzeb aplikacji, odzwierciedlając współczesne tendencje w konstrukcji zamkniętych systemów mikroprocesorowych.

### **Literatura**

- [ 1] M68HC05 Applications Guide, Motorola
- [ 2] MC68HC705C8 Technical Data, Motorola
- [ 3] MC68HC705C5 Technical Data, Motorola
- [ 4] MC68HC705K1 Technical Data, Motorola
- [ 5] M68HC11 Family Reference, Motorola
- [ 6] MC68HC11A8 Technical Data, Motorola
- [ 7] MC68HC11E9 Technical Data, Motorola
- [ 8] MC68HC11F1 Technical Data, Motorola
- [ 9] M68000 User's Manual, Motorola
- [10] SCC68070 User's Manual, Philips
- [11] MC68302 User's Manual, Motorola
- [12] MC68HC16Z1 User's Manual, Motorola

## **Załącznik nr 2**

### **System bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych**

- artykuł, Biuletyn PIAP, 1995

Rafał Więcko  
Dariusz Okrasa  
Andrzej Zasucha

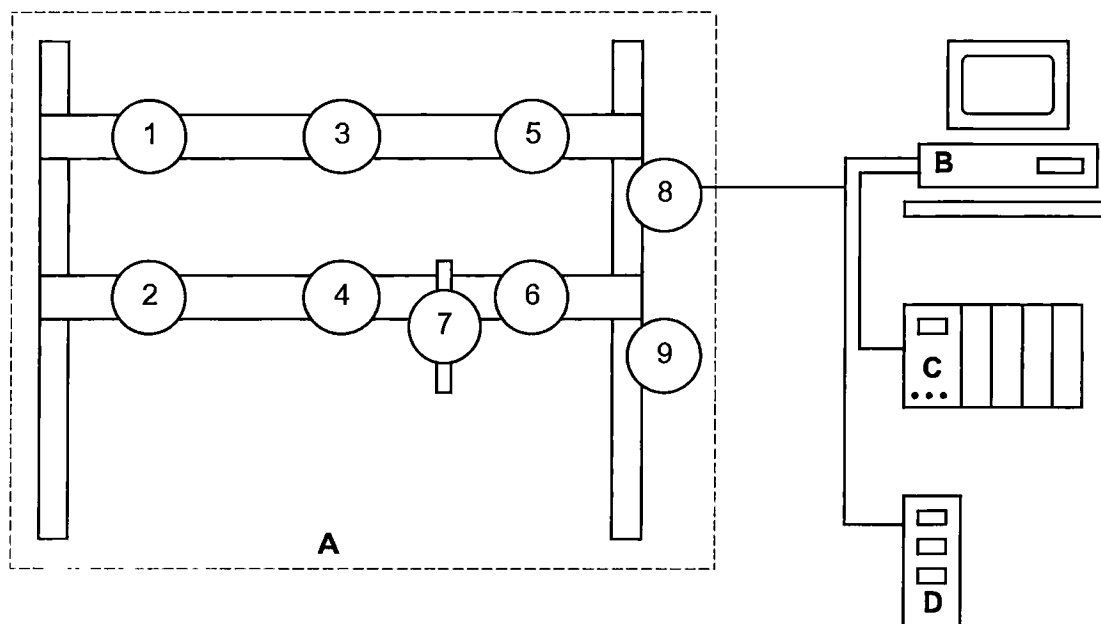
Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów PIAP

W artykule przedstawiono system bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych, umożliwiający pomiar grubości w zakresie do 80 mm, z dokładnością 0,1 mm, opracowany w PIAP i zainstalowany w ZPW PROSPAN w Wieruszowie.

## **SYSTEM BEZDOTYKOWEGO POMIARU GRUBOŚCI PŁYT WIÓROWYCH**

### **1. Wstęp**

W Ośrodku Pomiarów Ruchu i czasu (ORC) PIAP został opracowany model użytkowy przemysłowego systemu do bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych, oddany w maju 1994 r. do eksploatacji w Zakładach Płyt Wiórowych PROSPAN w Wieruszowie. Jest to system pomiarowy o architekturze rozproszonej, przedstawiony schematycznie na rys.1. W skład systemu wchodzi stanowisko pomiarowe (A), terminal stanowiska brakarki (B) i wyświetlacz obiektowy (D). Stanowisko pomiarowe (A) umieszczone jest za szlifierką, w miejscu dogodnym z punktu widzenia procesu technologicznego. Z uwagi na oddalenie stanowiska brakarki (B) od miejsca pomiaru (A) i na szereg czynności technologicznych wykonywanych po drodze, terminal (B) współpracuje ze sterownikiem linii technologicznej (C), synchronizując wyświetlanie odpowiedniego profilu z procesem transportu płyty wzdłuż linii technologicznej. Dla zakresu pomiarowego 80 mm, wynikającego z wymagań zastosowania w ZPW PROSPAN, uzyskano rozdzielczość 0,03 mm i dokładność 0,1 mm. System może być wykorzystany do pomiaru grubości innych materiałów niebłyszczących, np. gumy, folii nieprzezroczystych itp. Zakres pomiarowy, dokładność i konfiguracja systemu mogą być łatwo dostosowane do odmiennych potrzeb różnych odbiorców.



Oznaczenia:

A - stanowisko pomiarowe:

- 1, 2, 3, 4, 5, 6 - głowice pomiarowe,
- 7 - czujnik obecności płyty,
- 8 - sterownik sieci głowic 1...6,
- 9 - puszka rozdzielcza zasilania,

- B - terminal operatorski stanowiska brakarki,
- C - sterownik PLC linii technologicznej,
- D - panelowy wyświetlacz obiektowy.

**Rys.1. Architektura systemu do pomiaru grubości płyt wiórowych**

Używane dalej odwołania literowe i cyfrowe, ujęte w nawiasy, odnoszą się do oznaczeń urządzeń przedstawionych na rys.1.

## 2. Stanowisko pomiarowe

Przedstawione na rys.1 stanowisko pomiarowe (A) zrealizowano jako wieloprocesorowy system pomiarowy o architekturze rozproszonej, wykorzystujący procesory Motoroli rodziny HC11 i 68000. Wszystkie podzespoły stanowiska opracowano i wykonano w PIAP-ORC.

Stanowisko składa się z sześciu głowic pomiarowych (1...6), czujnika obecności i pomiaru długości bieżącej płyty (7) i sterownika sieci głowic pomiarowych (8), współpracującego z terminalem IBM PC (B), wizualizującym profil płyty na stanowisku brakarki w trakcie produkcji. Puszka

rozdzielcza (9), umieszczona na ramie nośnej, ułatwia doprowadzenie napięcia zasilania do stanowiska.

Pomiary wykonywane są w trakcie transportu płyty pomiędzy szlifierką i stanowiskiem brakarki (B). Głowice pomiarowe zostały zorganizowane w trzy różnicowe tory pomiarowe (1-2, 3-4, 5-6). Każda głowica ma własny mikrosterownik, wyznaczający odległość do powierzchni płyty. Wyniki przesyłane są magistralą szeregową (RS485) do sterownika (8) określającego wynik pomiaru grubości każdej sprzężonej pary głowic (1-2, 3-4, 5-6). Pomiar różnicowy eliminuje wpływ drgań i przesunięć płyty w trakcie transportu wzdłuż ciągu technologicznego. Początek i koniec pomiarów danej płyty wyznacza czujnik obecności płyty (7), odmierzający również interwały pomiarów w jednostkach długości (mm). Po przejściu płyty pod głowicami pomiarowymi (1...6) sterownik (8) przesyła odpowiednio sformatowane wyniki pomiarów do terminala nadrzędnego (IBM PC), umieszczonego na stanowisku brakarki (B). Sterownik (8) generuje dodatkowy sygnał synchronizacji głowic, wymuszając jednoczesny pomiar grubości przez wszystkie głowice. Eliminuje to błędy spowodowane pomiarem odległości w różnych miejscach przesuwanej się płyty.

## 2.1. Głowice pomiarowe

Pojedyncza głowica pomiarowa składa się z oświetlacza laserowego oraz kamery z jednowymiarowym czujnikiem wizyjnym CCD (charge coupled device) [2]. Kamera i oświetlacz umieszczone są na wspólnej podstawie w pyłoszczelnych obudowach zewnętrznych (rys.2). Odległość kamery od oświetlacza oraz kąt nachylenia ich osi optycznych zależne są od wymaganej rozdzielczości i zakresu pomiarowego. Wielkości te dobierane są indywidualnie do konkretnej aplikacji.

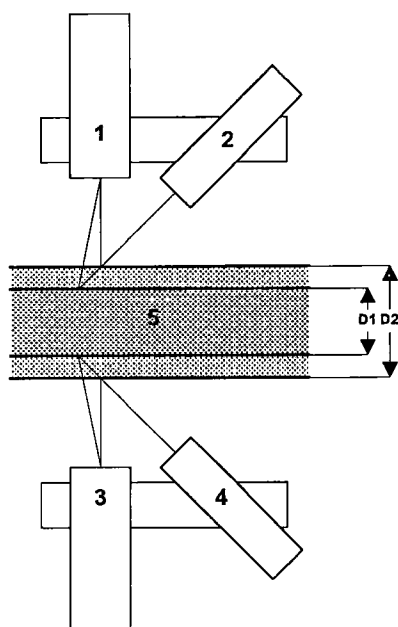
Kamera zawiera zasilacz, mikroprocesor rodziny HC11 z zewnętrzną pamięcią EPROM, interfejs szeregowy, jednowymiarowy czujnik obrazowy CCD, układ generacji sygnałów taktujących czujnika oraz układ konwersji sygnału czujnika na postać cyfrową. Wszystkie operacje zbierania, przetwarzania i transmisji danych w kamerze przebiegają pod kontrolą procesora zapewniającego obsługę wewnętrznych funkcji kamery oraz interfejsu szeregowego. W skład oświetlacza wchodzi zasilacz oraz laserowy, półprzewodnikowy generator linii.

Zasada pomiaru odległości oparta jest na metodzie triangulacji [1], tzn. kamera wykrywa położenie plamki światła rzutowanej z oświetlacza i rozpraszanej na powierzchni elementu mierzzonego. Położenie plamki zmienia się w polu widzenia kamery wraz ze zmianą odległości głowicy od obserwowanej powierzchni. Obraz z jednowymiarowego czujnika wizyjnego CCD jest odczytywany i przetwarzany przez procesor, w celu wyznaczenia mierzonej odległości w jednostkach metrycznych. Przesłanie wyników

pomiarów do sterownika (8) stanowiska pomiarowego odbywa się poprzez magistralę szeregową RS485 na komendę otrzymaną ze sterownika. Z uwagi na nieliniowość metody pomiarowej charakterystyka przetwarzania wyników uzyskiwanych z głowicy jest linearyzowana w procesie produkcji, co umożliwia zarazem korekcję błędów wykonania i montażu podzespołów mechanicznych.

## 2.2. Metoda pomiaru grubości płyty

Pomiar grubości w pojedynczym torze pomiarowym wykonywany jest za pomocą dwóch głowic umieszczonych naprzeciw siebie, po obu stronach elementu mierzony. Zasadę pomiaru, wygląd i usytuowanie głowic przedstawiono na rys.2.



Oznaczenia:

- 1, 3 - kamery CCD
- 2, 4 - oświetlacze laserowe
- 5 - element mierzony
- D1, D2 - grubość elementu mierzony

### Rys.2. Zasada bezdotykowego pomiaru grubości

Zakres pomiarowy, rozdzielczość i dokładność uzależnione są od geometrii głowicy pomiarowej, dostosowanej do potrzeb zadania.

W omawianym zastosowaniu, dla zakresu pomiarowego 80 mm uzyskano rozdzielczość 0,03 mm i dokładność 0,1 mm. Pomiar wykonywany jest co ok. 18 ms. Czas ten obejmuje czas pomiaru, czas wykonania niezbędnych

obliczeń i czas transmisji wyników z 6 głowic do sterownika stanowiska pomiarowego.

Podczas pomiaru grubość elementu mierzzonego  $D_i$  obliczana jest ze wzoru:

$$D_i = T - (d_1 + d_2),$$

gdzie:  $T$  - wartość bazowa,  
 $d_1$  - wynik z kamery 1,  
 $d_2$  - wynik z kamery 2.

Wartość bazowa  $T$  wyznaczana jest w trakcie kalibracji układu pomiarowego według zależności:

$$T = d_1 + d_2 + D_0,$$

gdzie:  $d_1$  - wynik z kamery 1,  
 $d_2$  - wynik z kamery 2,  
 $D_0$  - grubość wzorca.

Kalibracja, która polega na pomiarze elementu o znanej grubości  $D_0$  (wzorca odniesienia), wykonywana jest dla każdej sprzężonej pary głowic (1-2, 3-4, 5-6). Otrzymane wartości bazowe są przechowywane w zbiorze kalibracyjnym terminala brakarki (B).

### 2.3. Sterownik sieci głowic pomiarowych

Sterownik (8) jest urządzeniem nadrzędnym stanowiska pomiarowego (A). Zarządza pracą głowic pomiarowych, określając moment wykonania pomiaru, po czym odczytuje wyniki, wyznaczając w czasie rzeczywistym wartość chwilową, średnią, minimalną i maksymalną. W każdej chwili użytkownik ma dostęp do informacji o wynikach pomiarów i stanie systemu. Wyświetlane informacje zostały zorganizowane w system okien, co ułatwia obsługę, zmniejszając liczbę niezbędnych przycisków operatorskich. Sterownik zapewnia również pełną diagnostykę wszystkich głowic pomiarowych stanowiska. Wyświetlane są informacje o stanach krytycznych (np. błędy komunikacji) oraz dodatkowe informacje autodiagnostyczne (np. brak prądu w polu widzenia kamery, prądu za wąski itp.). Głowice pomiarowe mogą być logicznie odłączane od magistrali szeregowej systemu. Powyższe funkcje autodiagnostyki są szczególnie przydatne w trakcie instalacji i serwisu, ułatwiając zlokalizowanie uszkodzenia lub wskazując na potrzebę oczyszczenia elementów optycznych, zmianę usytuowania głowic pomiarowych itp.

Sterownik skonstruowano w oparciu o 16/32-bitowy procesor 68070 z rodziny 68000. Komunikację z kamerami i terminalem brakarki zrealizowano

za pomocą wieloprotokołowego kontrolera komunikacyjnego 68562. Komunikację z ręcznym terminalem operatorskim umożliwia asynchroniczny port szeregowy, wbudowany w procesor 68070. Porty równoległe 68230 umożliwiają obsługę klawiatury, wyświetlacza LCD i sygnałów obiektowych.

#### **2.4. Organizacja współpracy urządzeń stanowiska pomiarowego**

Sterownik (8) nadzoruje pracę wszystkich urządzeń stanowiska pomiarowego (A). Z uwagi na rozproszoną architekturę systemu i fizyczne oddalenie urządzeń wymiana informacji odbywa się poprzez izolowane galwanicznie łącza szeregowy. Komunikacja jest realizowana przy wykorzystaniu oryginalnego protokołu transmisji opracowanego w PIAP, dostosowanego do specyfiki aplikacji. Komunikację oparto na mechanizmach protokołu HDLC. Opracowany protokół komunikacji z kamerami w porównaniu z innymi znanymi protokołami, wzorowanymi również na protokole HDLC (np. Profibus), został uproszczony. Zachowano w nim mechanizmy adresacji urządzeń i kontroli poprawności transmisji. Zrezygnowano z niepotrzebnych tutaj mechanizmów powtarzania informacji w przypadku wykrycia błędów - tracony jest wówczas pojedynczy pomiar. Z uwagi na to, że pomiary są powtarzane co ok. 20 ms, próby odzyskania błędnie transmitowanej informacji powodowałyby ryzyko utraty większej liczby wyników. Błędny pomiar jest oznaczany w zbiorze pomiarowym i nie jest uwzględniany w obliczeniach, ani przy prezentacji graficznej na stanowisku brakarki. W przypadku utraty łączności z głowicą w trakcie wykonywania pomiarów, jest ona odłączana logicznie i nie jest więcej odpytywana aż do chwili zakończenia pomiaru. Po zakończeniu pomiaru sterownik podejmuje próby odtworzenia łączności z kamerą. W przypadku odzyskania łączności głowica jest ponownie włączana w strukturę logiczną stanowiska, a tym samym przywracana jest pełna sprawność systemu. Błąd komunikacji sygnalizowany jest wyświetleniem odpowiedniego komunikatu na panelu operatora. Znaczniki błędów umieszczane są również w zbiorze pomiarowym wysyłanym do terminala brakarki, co umożliwia bezzwłoczną sygnalizację wykrytych błędów. Komunikację z terminalem brakarki (B) zorganizowano podobnie, z tym że zachowane zostały mechanizmy powtarzania ramek transmisyjnych w przypadku wykrycia błędu komunikacji. Obydwa urządzenia sprawdzają również wzajemną gotowość do współpracy.

#### **2.5. Konfiguracja parametrów roboczych stanowiska**

Wbudowane funkcje konfiguracyjne sterownika (8) umożliwiają określenie sposobu przeprowadzania pomiaru przez zmianę wartości wybranych parametrów roboczych. Konfiguracja pomiarowa, przechowywana w wewnętrznej pamięci EEPROM, jest odtwarzana po każdym resecie systemu. Programowanie parametrów roboczych stanowiska pomiarowego wprowadzono w celu ułatwienia dopasowania stanowiska do rzeczywistych wymagań linii technologicznej w trakcie instalacji. Programowany może być



sposób wyzwalania pomiarów, sposób i częstość próbkowania płyty, sposób obsługi sygnałów obiektowych, czas trwania impulsu synchronizacji itp.

Zmianę wartości wszystkich konfigurowalnych parametrów roboczych systemu umożliwia ręczny terminal operatorski, dołączany do złącza na płycie czołowej panelu operatorskiego sterownika (8). Oprogramowanie współpracy obu urządzeń jest zainstalowane w sterowniku. Dostęp do parametrów jest chroniony za pomocą wielopoziomowego systemu hasel, ograniczającego ingerencję osób niepowołanych. W celu ułatwienia obsługi powielono funkcje niektórych komend i przycisków klawiatury funkcyjnej sterownika (8), z tym że stają się one dostępne dla operatora dopiero po wprowadzeniu hasła dostępu odpowiedniego poziomu i komendy odblokowania klawiatury. Po upływie ok. 10 min od chwili wydania ostatniego polecenia lub wciśnięcia przycisku, sterownik blokuje klawiaturę i przywraca uprawnienia dostępu o najniższym poziomie, co chroni sterownik przed przypadkowym pozostawieniem w stanie umożliwiającym osobom niepowołanym zmianę krytycznych parametrów roboczych.

## **2.6. Wyzwalanie pomiarów**

Zmiana sposobu wyzwalania pomiarów umożliwia rozpoczęcie pomiarów przez czujnik obecności płyty (7) w momencie ugięcia ramienia czujnika, albo przez operatora za pomocą klawiatury. Zbiór pomiarowy jest zamykany i wysyłany do terminala brakarki (B) automatycznie w momencie wykrycia końca płyty (zwolnienie ramienia czujnika), albo na polecenie operatora - po wciśnięciu odpowiedniego przycisku klawiatury funkcyjnej sterownika. Tryb wyzwalania pomiarów przez operatora służy ułatwieniu czynności serwisowych i instalacyjnych.

## **2.7. Pomiar wartości chwilowych**

Zmiana sposobu skanowania płyty umożliwia wybór rodzaju wyzwalania i częstotliwości wykonywania pomiarów chwilowych. Interwały próbkowania mogą być wyznaczone przez zewnętrzny czujnik obecności płyty (7) w zadanych odstępach długości (mm), albo przez sterownik (8) - w stałych odstępach czasu (ms) lub w sposób ciągły (kolejny pomiar wykonywany jest natychmiast po zakończeniu poprzedniego). Użytkownik może programować interwały długości i czasu, w których pomiary są wykonywane. Możliwe jest również wykonywanie pojedynczych pomiarów na polecenie operatora (wciśnięcie klawisza). Niezależnie od wybranego sposobu skanowania, zbiór pomiarowy jest zamykany po wykonaniu 1000 pomiarów. Na wyświetlaczu pojawia się znacznik sygnalizujący zapełnienie bufora pomiarowego.

## **2.8. Funkcje współpracy z urządzeniami linii technologicznej**

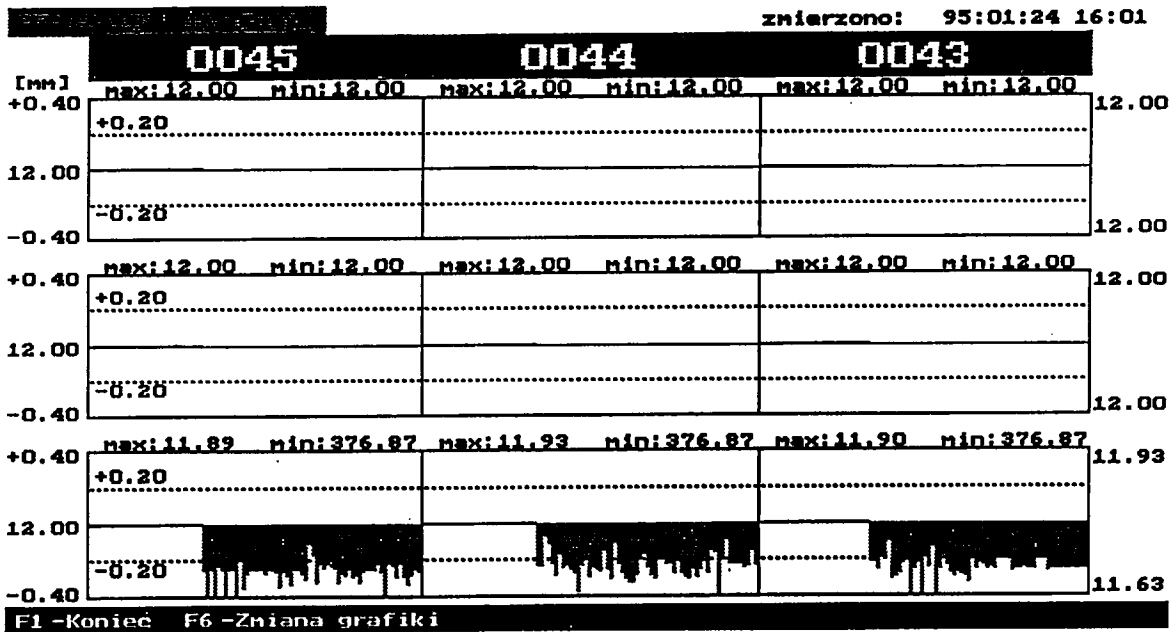
W trakcie przesuwania płyty pod głowicami pomiarowymi wykonywana jest operacja technologiczna centrowania. Ponieważ związane z tym przemieszczanie płyty w płaszczyźnie pionowej może wprowadzać błędy pomiaru, to sterownik (8) umożliwia oznaczenie pomiarów wykonanych podczas centrowania. Ich wyniki zostają zignorowane w trakcie przetwarzania zbioru pomiarowego przez sterownik (8) i terminal nadrzędny stanowiska brakarki (B). Oznaczanie obszaru centrowania następuje po włączeniu funkcji centrowania i doprowadzeniu odpowiedniego sygnału do złącza wejść obiektowych sterownika. Stan obiektowych wejść dwustanowych (np. centrowanie, detekcja obecności płyty pod głowicami) jest wstępnie filtrowany, zanim zostanie rozpoznany przez sterownik (8). Czas filtracji, w ciągu którego stan sygnału wejściowego nie może ulec zmianie, jest programowany niezależnie dla każdego wejścia. Ułatwia to dopasowanie systemu do parametrów roboczych linii technologicznej.

## **3. Terminal operatorski stanowiska brakarki**

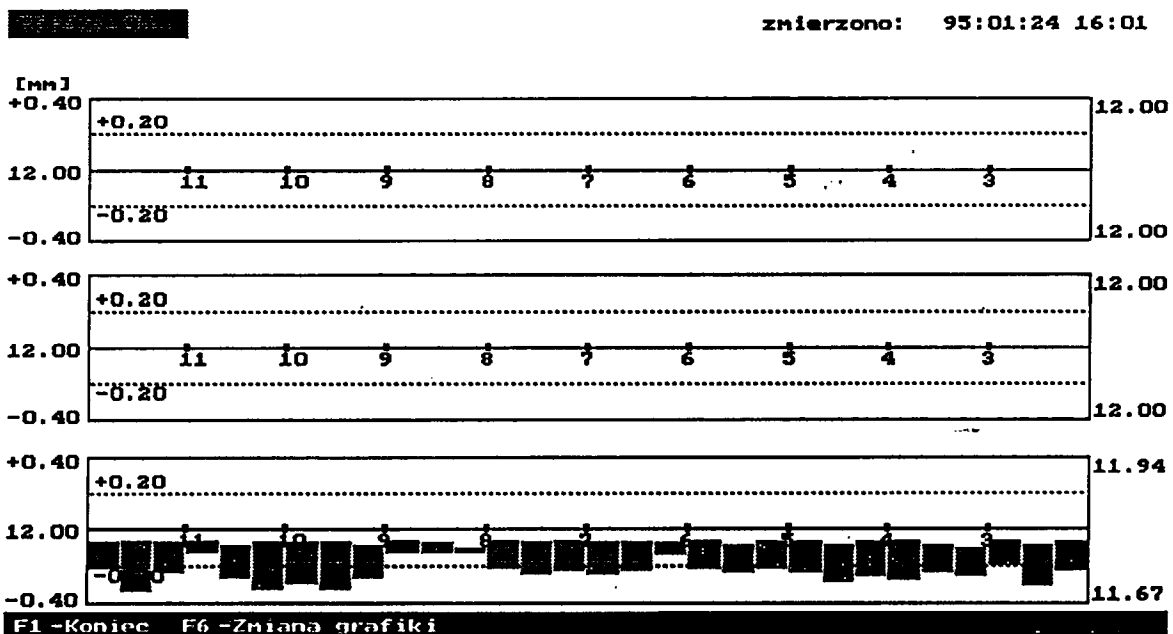
Na stanowisku brakarki (B) zainstalowany jest terminal (IBM PC) umożliwiający prezentację graficzną profilu przesuwającej się płyty. Wyświetlane informacje wspomagają pracę brakarki. System wyznacza automatycznie klasę wyrobu, zgodnie z wymaganiami dopuszczalnych odchyłek grubości płyty. Ponieważ nie jest to jedyne kryterium oceny jakości, to ostateczną decyzję pozostawiono brakarce. Dane pomiarowe przesyłane są przez sterownik (8) stanowiska pomiarowego (A) do terminala (B) przez łącze szeregowe COM1, zgodnie z zaimplementowanym protokołem komunikacji. Łącze szeregowe COM1 obsługiwane jest w trybie przerwań, co chroni terminal przed utratą nadchodzących danych pomiarowych w czasie wizualizacji i archiwizacji danych poprzednio zmierzonych płyt. Łączem COM1 wysyłane są również dane o uśrednionych grubościach zmierzonych płyt do wyświetlacza obiektowego (D), zainstalowanego na stanowisku szlifierki. Łącze szeregowe COM2 wykorzystywane jest do wymiany informacji ze sterownikiem linii technologicznej (C) w celu zsynchronizowania wyświetlania odpowiedniego profilu płyty z procesem jej transportu wzdłuż linii technologicznej.

### **3.1. Wizualizacja danych pomiarowych**

Dane pomiarowe są zobrazowane graficznie w dwóch oknach, przedstawionych na rys.3. i rys.4. Okno nr 1 przedstawia odchyłki grubości dla jednej płyty o grubości nominalnej 12 mm w trzech torach pomiarowych. Płyta podzielona jest ze względów technologicznych na trzy części, tzw. formatki. Na rys.3 przedstawiono Okno nr 1 z włączonym tylko jednym torem pomiarowym. Odchyłki wyświetlane są w granicach (-0,40 mm, +0,40 mm). Odchyłki mieszczące się w granicach tolerancji dla klasy pierwszej (-0,20



Rys.3. Wizualizacja profilu płyty na ekranie monitora - Okno 1.



Rys.4. Wizualizacja historii ostatnich 10 płyt - Okno 2.

mm, +0,20 mm) są obrazowane kolorem zielonym, odchyłki przekraczające ten zakres tolerancji - kolorem czerwonym. Kropkowane linie wzdłuż torów pomiarowych odpowiadają granicy tolerancji klasy pierwszej. W górnej części ekranu wyświetlane są kolejne numery zmierzonych formatek, data, czas pomiaru oraz czas bieżący. Okno nr 2 (rys.4.) przedstawia historię ostatnich dziesięciu zmierzonych płyt (30 formatek). Ułatwia to obserwację pewnych tendencji w zmianie grubości płyt. Przełączanie grafik odbywa się za pomocą klawisza funkcyjnego F6.

### **3.2. Archiwizacja danych pomiarowych**

Poprawnie odebrane dane ze sterownika (8) stanowiska pomiarowego (A) służą do obliczenia odchyłek grubości nominalnej i wyznaczenia klas jakości dla trzech formatek danej płyty. Ujemne wartości odchyłek dla danej głowicy oznaczają, że grubość formatki jest mniejsza od grubości nominalnej. Wartości dodatnie oznaczają formatki grubsze. Zbiory pomiarowe i wyniki obliczeń przechowywane są w pamięci terminala. Z uwagi na specyfikę procesu technologicznego przechowywane są wyniki pomiaru ostatnich dziesięciu płyt. Po kolejnych dziesięciu płytach (30 formatek) do pliku archiwizacyjnego na twardym dysku zapisywane są informacje o każdej formatce w następującej postaci:

- pozycja 1: numer formatki (1 - 60000),
- pozycja 2: grubość nominalna formatki w mm (12,15,16,18,22 lub 28),
- pozycja 3: data pomiaru ( yy-mm-dd ),
- pozycja 4: czas pomiaru ( hh:mm),
- pozycja 5: odchyłka min dla głowic 1-2,
- pozycja 6: odchyłka min dla głowicy 3-4,
- pozycja 7: odchyłka min dla głowicy 5-6,
- pozycja 8: odchyłka max dla głowicy 1-2,
- pozycja 9: odchyłka max dla głowicy 3-4,
- pozycja 10: odchyłka max dla głowicy 5-6.

Pojedynczy plik archiwalny zawiera wyniki pomiarów wykonanych w ciągu jednej doby. Format zbioru dostosowano do wymagań odbiorcy.

### **3.3. Konfiguracja parametrów użytkowych**

W celu ułatwienia instalacji, eksploatacji i serwisu systemu wprowadzono zbiór konfiguracyjny parametrów roboczych. Użytkownik może określać grubości nominalne i klasy dokładności zależnie od własnych wymagań. Zmiany wprowadzone w zbiorze konfiguracyjnym nie wymagają powtórnej kompilacji programu.

### **3.4. Współpraca ze sterownikiem linii technologicznej**

Oddalenie miejsca pomiaru (A) od miejsca wizualizacji graficznej płyty (B) wymaga zsynchronizowania wyświetlania odpowiedniego profilu z procesem transportu płyty wzdłuż linii technologicznej. Jest to możliwe dzięki współpracy terminala brakarki (B) ze sterownikiem linii technologicznej (C), nadzorującym kolejne czynności produkcyjne. Ponieważ pomiar płyty i transmisja wyników odbywają się w trakcie wykonywania jednej z czynności technologicznych, położenie ostatnio zmierzonej płyty jest jednoznacznie określone w procesie produkcji. Po odebraniu zbioru pomiarowego i bezzwłocznym wyznaczeniu klas trzech formatek, terminal wysyła te informacje przez łącze szeregowe COM2 do sterownika linii technologicznej (C), który łączy wyniki pomiaru grubości płyty z jej numerem technologicznym. Terminal (B) odczytuje zwrótnie numer płyty aktualnie transportowanej przed stanowiskiem brakarki, wyświetlając odpowiedni profil na ekranie monitora.

### **3.5. Współpraca z wyświetlaczem obiektowym**

Oprócz wizualizacji graficznej na ekranie terminala brakarki (B), wyniki pomiarów wyświetlane są dodatkowo w postaci liczbowej na panelu obiektowym (D), zamontowanym na stanowisku szlifierki. Umożliwia to bieżącą ocenę stanu taśm ściernych i ich wymianę w odpowiednim momencie. Dane o grubości płyt są wyświetlane po zmierzeniu każdej płyty. Terminal brakarki (B) wyznacza uśrednione wyniki pomiaru natychmiast po odebraniu zbioru pomiarowego od sterownika stanowiska (A) i wysyła je łączem szeregowym COM1 do panelu (D). Grubości te wyświetlane są w mm z zaokrągleniem do 0,1 mm ( np. 12,3 ).

## **4. Funkcje autodiagnostyki systemu**

System pomiarowy składa się z wielu, rozproszonych po obiekcie przemysłowym, urządzeń wyznaczających w sposób naturalny jego architekturę. Komunikacja między poszczególnymi urządzeniami odbywa się przez łącza szeregowe, zgodnie z odpowiednimi protokołami. Z uwagi na stałą obecność operatora przy stanowisku brakarki (B) w oprogramowanie terminala wbudowano funkcje diagnostyki poprawności pracy całego systemu.

Pojawienie się błędów transmisji pomiędzy terminalem stanowiska brakarki (B), sterownikiem stanowiska pomiarowego (A), sterownikiem linii technologicznej (C) i wyświetlaczem obiektowym (D) nie powoduje zawieszenia programu. Komunikat o wystąpieniu błędu jest wyświetlany na ekranie monitora. W chwili odzyskania poprawnej łączności terminal automatycznie podejmuje dalszą pracę. Oprogramowanie terminala (B) rozpoznaje również kody błędów głowic pomiarowych, dołączane do zbioru pomiarowego. Na ekranie monitora wyświetlane są wówczas odpowiednie

komunikaty. Stany krytyczne, wymagające ingerencji operatora, sygnalizowane są dodatkowo sygnałem akustycznym.

#### **4.1. Uruchamianie systemu pomiarowego**

Po wywołaniu programu obsługi stanowiska brakarki (B) następuje inicjalizacja współpracy terminala (IBM PC) z pozostałymi urządzeniami. Fazę uruchamiania rozpoczyna test wyświetlacza obiektowego (D), po czym następuje nawiązanie łączności ze sterownikiem stanowiska pomiarowego (A) i linii technologicznej (C). Jeżeli inicjalizacja programu przebiegła poprawnie to terminal jest gotowy do przyjmowania danych od stanowiska pomiarowego (A) przez łącze szeregowo COM1 i do równoczesnej współpracy ze sterownikiem linii technologicznej (C) przez łącze COM2.

#### **4.2. Obsługa błędów współpracy ze stanowiskiem pomiarowym**

W przypadku błędu transmisji zbioru pomiarowego płyta, podczas pomiaru której wystąpił błąd, zostaje oznaczona na obrazie graficznym jako niezmiernona (komunikat: BRAK POMIARU) i w zbiorze archiwizowanym (zera w kolumnach odchyłek). Jeżeli odstęp czasu pomiędzy kolejno odbieranymi danymi jest zbyt duży, to w okienku klawiszy funkcyjnych sygnalizowany jest timeout oraz generowany dźwiękowy sygnał alarmowy.

#### **4.3. Obsługa błędów współpracy ze sterownikiem linii technologicznej**

Wymiana informacji pomiędzy terminalem (B) i sterownikiem linii technologicznej (C) SYSMAC 2000 odbywa się zgodnie z protokołem komend sterowników firmy Omron za pomocą modułu Host Link. Realizowana jest pełna, przewidziana w tym protokole detekcja błędów - timeout, powtórzenie komendy nie rozpoznanej, zła suma kontrolna itp. W przypadku wystąpienia błędu dane pomiarowe stanowiska (A) są odczytywane i archiwizowane. Wymiana informacji ze sterownikiem linii technologicznej (C) jest kontynuowana po ponownym nawiązaniu łączności, chyba że operator przerwie wykonywanie programu w celu usunięcia ewentualnej awarii sprzętu. Błędy sygnalizowane są przez odpowiedni komunikat i alarmowy sygnał dźwiękowy.

#### **4.4. Obsługa błędów współpracy z wyświetlaczem obiektowym**

Panel obiektowy (D) ma wbudowane mechanizmy detekcji błędów, powodujące odrzucanie niepoprawnych ramek transmisyjnych. Ponieważ przy nominalnej szybkości ciągu technologicznego nowe wyniki wysyłane są co około 10 s, to uznano, że błędy transmisji danych do panelu obiektowego (D) nie są krytyczne. Poprawnie odebrane wyniki kolejnego pomiaru odświeżają stan wyświetlacza. Jednocześnie łącze komunikacji stanowiska

(A) z terminalem brakarki (B) jest zawsze gotowe do transmisji danych pomiarowych. Z uwagi na niekrytyczny charakter błędów współpracy z wyświetlaczem obiektywnym (D) nie są one sygnalizowane, za wyjątkiem fazy inicjalizacji systemu.

## **5. Kalibracja**

Wszystkie urządzenia stanowiska pomiarowego (A) umieszczone są na metalowej ramie nośnej. Z tego powodu konieczne jest przeprowadzanie okresowej kalibracji stanowiska, tzn. pomiaru wzorców odniesienia, dostarczanych wraz z stanowiskiem. Wymagane jest wówczas zatrzymanie linii produkcyjnej. Wzorce umieszczane są w polu widzenia kamer na specjalnym stoliku umożliwiającym poziomowanie. Oprogramowanie terminala stanowiska brakarki (B) i wbudowane funkcje sterownika stanowiska pomiarowego (A) ułatwiają wykonanie pomiarów bazowych. Wyniki pomiarów są przechowywane w specjalnym zbiorze kalibracyjnym, wczytywanym przez terminal w trakcie uruchamiania programu. Zgodnie z wymaganiami odbiorcy, funkcje bazowania obsługuje osobny program, uruchamiany w razie potrzeby na terminalu stanowiska brakarki.

## **6. Konserwacja**

Z uwagi na wykorzystywanie do pomiaru metod optycznych, szczególnie istotna jest czystość głowic pomiarowych. Niedopuszczalne jest gromadzenie się na nich jakichkolwiek zanieczyszczeń, które mogą powodować istotne błędy w pomiarze. Stanowisko wyposażone jest w dysze nadmuchu oczyszczonego, sprężonego powietrza, skierowanego na szklane elementy obudów kamer i oświetlaczy. Niezależnie od tego, konieczna jest systematyczna kontrola czystości obudów i usuwanie zanieczyszczeń z powierzchni szklanych. Jest to szczególnie istotne dla zespołu głowic umieszczonych pod płytą. Częstotliwość oczyszczania głowic zależy od zapylenia w miejscu zamontowania stanowiska. Poza tym system praktycznie nie wymaga wykonywania żadnych czynności konserwacyjnych.

## **7. Kontynuacja prac badawczo rozwojowych**

Z uwagi na systematyczny postęp w technologii układów mikroprocesorowych oraz pożądane zwiększenie szybkości działania systemu, wynikające z wzrastających wymagań odbiorcy dążącego do jak największego przyspieszenia procesu technologicznego, prowadzona jest modernizacja podstawowych podzespołów systemu. Wprawdzie w chwili obecnej wykorzystywane są nowoczesne elementy renomowanych producentów (Motorola 68HC11, Philips SCC68070), jednakże zwiększenie szybkości działania systemu wiąże się ze zmianą dotychczas stosowanych mikrokontrolerów w głowicach pomiarowych na procesory nowszej generacji, o zwiększonej szybkości transmisji łącza szeregowego. Modernizacja

jednostki centralnej umożliwi obsługę magistrali szeregowej z większą niż dotychczas szybkością, pozostawiając zarazem więcej czasu na wykonanie zadań pomiarowych, współpracę z użytkownikiem lub innymi urządzeniami linii technologicznej, np. na automatyczną kontrolę grubości płyt przez sterowanie pracą szlifierki. Ponadto nastąpi korzystna, z punktu widzenia dalszego rozwoju systemu, unifikacja sprzętu - wszystkie podzespoły pochodzą będą z firmy Motorola, zapewniającej ciągłe dostawy swoich produktów, jak również kompatybilność programową i sprzętową procesorów kolejnych generacji. Zmodernizowany system rozproszony umożliwi również realizację innych zadań pomiarowych, zgłaszanych przez obecnych odbiorców (np. pomiar długości lin, przewodów, monitorowanie szybkości taśm transmisyjnych itp.). Rozważana jest również możliwość zastąpienia łączy standardu RS485 światłowodami, co zwiększy odporność systemu na zakłócenia przemysłowe.

### **Literatura**

- [1] Klaus B., Horn P. : Robot Vision. Londyn, 1986 r. The MIT Press.
- [2] CCD Linear Image Sensor Data Book. Toshiba, 1990



**Załącznik nr 3**

**System bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych**

- referat, VIII Krajowa Konferencja Metrologii, Warszawa, październik 1995



INSTYTUT  
METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

KOMITET ORGANIZACYJNY  
VIII KRAJOWEJ KONFERENCJI METROLOGII

Warszawa, 25.05.1995 r.

Adres:

ul. Chodkiewicza 8  
02-525 WARSZAWA

tel./fax 49 03 95  
tel. 660 8281

Nr ewid.147

Szanowny Pan

Mgr inż.

Rafał Więcko

Z przyjemnością zawiadamiamy, że referat Pana nt.:  
*System "SPGPW" do bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych*  
został zaakceptowany do wygłoszenia na VIII Krajowej Konferencji Metrologii. Pełny tekst referatu zostanie zamieszczony w Zeszytach Naukowych Politechniki Warszawskiej. Warunkiem opublikowania jest wniesienie opłaty uczestnictwa, o której mowa niżej.

Referat został zakwalifikowany do przedstawienia w ramach sesji plakatowej w sekcji 5.


Do dyspozycji Pana będzie stojak z płytą o wymiarach minimum 800 mm x 800 mm. Przewidujemy poza tym 5-cio minutowe zaprezentowanie przez Pana ww. referatu podczas sesji oralnej. Po każdym wystąpieniu przewidujemy 5 minut na dyskusję.

Informujemy, że uroczyste otwarcie Konferencji odbędzie się w dniu 18.X.1995 r. w gmachu Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, ul. Chodkiewicza 8. Obrady będą kontynuowane w Wyższej Szkole Oficerskiej Wojsk Łączności w Zegrzu koło Warszawy.

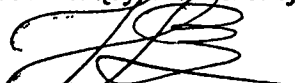
Z powodu inflacji zmuszeni jesteśmy podnieść koszt uczestnictwa w Konferencji do 300 zł. Opłata obejmuje: materiały konferencyjne, przejazdy na trasie: Warszawa - Zegrze i Zegrze - Warszawa, noclegi w dniach 18/19.X.1995 i 19/20.X.1995 r. oraz wyżywienie (kolacja w dniu 18.X.1995, pełne wyżywienie w dniu 19.X.1995, śniadanie oraz obiad w dn. 20.X.1995 r.) i koszty organizacyjne. Ww. kwotę prosimy przesłać na konto Politechniki Warszawskiej nr 370028-4200 w PBK VIII OM Warszawa, symbol jednostki 114 z dopiskiem "VIII KKM" w terminie do 25.VI.1995 r.

Prosimy również o wypełnienie i przesłanie pod adresem Komitetu Organizacyjnego Konferencji Karty Uczestnictwa.

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego

  
dr inż. Anna Lewińska-Romicka

Przewodniczący Konferencji

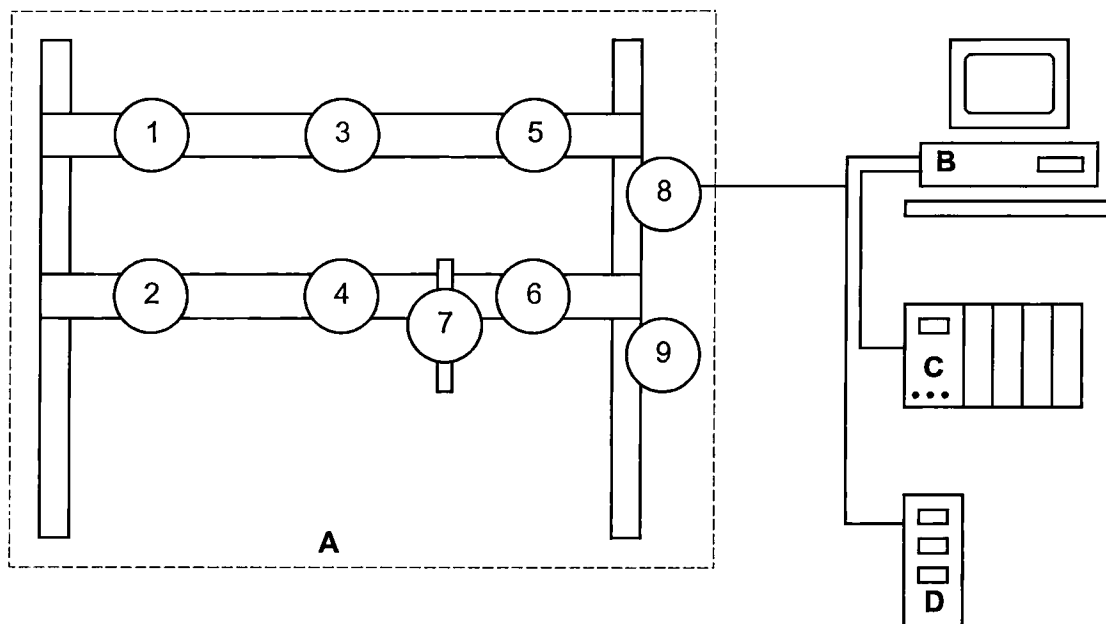
  
doc. dt inż. Jan Bek

## SYSTEM BEZDOTYKOWEGO POMIARU GRUBOŚCI PŁYT WIÓROWYCH

### Streszczenie

W referacie przedstawiono system bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych, umożliwiający pomiar grubości w zakresie 80 mm, z dokładnością 0.1 mm, opracowany w PIAP i wdrożony w ZPW PROSPAN w Wieruszowie. Pomiar wykonywane są podczas transportu płyty wzdłuż ciągu technologicznego, w trzech torach, za pomocą mikroprocesorowych kamer liniowych CCD. System charakteryzuje architektura rozproszona, wynikająca z rozmieszczenia jego urządzeń w zakładzie przemysłowym. Komunikację pomiędzy urządzeniami zrealizowano za pomocą łącz szeregowych.

W PIAP opracowano model użytkowy przemysłowego systemu bezdotykowego pomiaru grubości płyt wiórowych, oddany w maju 1994r. do eksploatacji w ZPW PROSPAN w Wieruszowie. Jest to system pomiarowy o architekturze rozproszonej, przedstawiony na rys.1.



Rys.1. Architektura systemu do pomiaru grubości płyt wiórowych

W jego skład wchodzi stanowisko pomiarowe (A), terminal stanowiska brakarki (B) i wyświetlacz obiektowy (D). Stanowisko pomiarowe (A) umieszczone jest za szlifierką, w miejscu dogodnym z punktu widzenia procesu technologicznego. Z

uwagi na oddalenie stanowiska brakarki (B) od miejsca pomiaru (A), terminal (B) współpracuje ze sterownikiem linii technologicznej (C), synchronizując wyświetlanie odpowiedniego profilu z procesem transportu płyty wzdłuż linii technologicznej. Dla zakresu pomiarowego 80 mm, wynikającego z wymagań zastosowania, uzyskano rozdzielczość 0.03 mm i dokładność 0.1 mm. Zakres pomiarowy, dokładność i konfiguracja systemu mogą być łatwo dostosowane do odmiennych potrzeb różnych odbiorców. System może być wykorzystany do pomiaru grubości innych materiałów niebłyszczących, np. gumy, folii nieprzezroczystych itp. W chwili obecnej jest to jedyne tego typu opracowanie w Polsce.

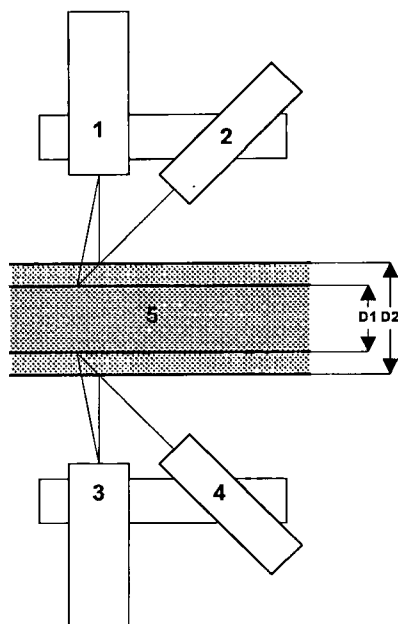
## **1. Stanowisko pomiarowe**

Stanowisko pomiarowe (A), przedstawione na rys.1, zrealizowano jako wieloprocessorowy system pomiarowy o architekturze rozproszonej. Wszystkie podzespoły stanowiska opracowano i wykonano w PIAP. Stanowisko składa się z sześciu głowic pomiarowych (1..6), czujnika obecności płyty (7) oraz sterownika sieci głowic pomiarowych (8). Pomiaru wykonywane są podczas transportu płyty, w trzech torach obsługiwanych przez sprzężone pary głowic (1-2, 3-4, 5-6). Każda głowica posiada własny mikrosterownik, wyznaczający odległość do powierzchni płyty. Wyniki przesyłane są magistralą szeregową do sterownika (8) określającego wynik pomiaru grubości każdej sprzężonej pary głowic. Pomiar różnicowy eliminuje wpływ drgań i przesunięć płyty w trakcie transportu wzdłuż ciągu technologicznego. Początek i koniec pomiarów danej płyty wyznacza czujnik obecności płyty (7), odmierzający również interwały pomiaru w jednostkach długości (mm). Sterownik (8) generuje dodatkowy sygnał synchronizacji głowic, wymuszając jednoczesny pomiar grubości przez wszystkie głowice. Eliminuje to błędy spowodowane pomiarem odległości w różnych miejscach przesuwającej się płyty. Po przejściu płyty, sterownik (8) przesyła odpowiednio sformatowane wyniki pomiarów do terminala (B). Z uwagi na wykorzystywanie do pomiaru metod optycznych, szczególnie istotna jest czystość głowic pomiarowych. Stanowisko wyposażono w dysze nadmuchu sprężonego powietrza, skierowanego na szklane elementy obudów kamer i oświetlaczy.

### **1.1. Głowice pomiarowe**

Pojedyncza głowica pomiarowa składa się z oświetlacza laserowego oraz kamery CCD z jednowymiarowym czujnikiem wizyjnym. Kamera i oświetlacz umieszczone są na wspólnej podstawie w pyłoszczelnych obudowach zewnętrznych (rys.2). Odległość kamery od oświetlacza oraz kąt nachylenia ich osi optycznych zależne są od wymaganej rozdzielczości i zakresu pomiarowego. Wielkości te dobierane są indywidualnie do konkretnej aplikacji. Zasada pomiaru odległości oparta jest na metodzie triangulacji, w której położenie plamki rzutowanej przez oświetlacz na powierzchnię płyty zmienia się w polu widzenia kamery wraz ze zmianą odległości głowicy od tej powierzchni. Obraz z jednowymiarowego czujnika wizyjnego CCD jest przetwarzany przez mikrosterownik kamery, wyznaczający

odległość w jednostkach metrycznych. Przesłanie wyników pomiarów do sterownika stanowiska odbywa się za pomocą magistrali szeregowej, na polecenie odebrane ze sterownika. Charakterystyka głowicy pomiarowej jest linearyzowana w procesie produkcji, co umożliwi korekcję błędów wykonania i montażu podzespołów mechanicznych.



- 1, 3 - kamery CCD
- 2, 4 - oświetlacze laserowe
- 5 - element mierzony
- $D_1, D_2$  - grubość elementu mierzonyego

Zakres pomiarowy, rozdzielczość i dokładność uzależnione są od geometrii głowicy pomiarowej, dostosowanej do potrzeb zadania.

W omawianym przykładzie dla zakresu pomiarowego 80 mm, uzyskano rozdzielczość 0.03 mm i dokładność 0.1 mm. Pomiary wykonywane są co 18 ms.

**Rys.2. Zasada bezdotykowego pomiaru grubości.**

Pomiar grubości w pojedynczym torze pomiarowym wykonywany jest za pomocą dwóch głowic umieszczonych naprzeciw siebie, po obu stronach elementu mierzonyego. Podczas pomiaru grubość elementu mierzonyego  $D_i$  jest obliczana ze wzoru:

$$D_i = T - (d_1 + d_2),$$

gdzie:  $T$  - wartość bazowa,  
 $d_1$  - wynik z kamery 1,  
 $d_2$  - wynik z kamery 2.

Wartość bazowa  $T$  wyznaczana jest w trakcie kalibracji układu pomiarowego, według zależności:

$$T = d_1 + d_2 + D_0,$$

gdzie:  $d_1$  - wynik z kamery 1,  
 $d_2$  - wynik z kamery 2,  
 $D_0$  - grubość wzorca.

Kalibracja polega na pomiarze wzorca o znanej grubości  $D_0$ , umieszczanego w polu widzenia kamer na specjalnym stoliku umożliwiającym poziomowanie. Wyniki pomiarów są przechowywane w osobnym zbiorze kalibracyjnym, wczytywanym przez terminal (B) w trakcie uruchamiania programu.

## 1.2. Sterownik sieci głowic pomiarowych

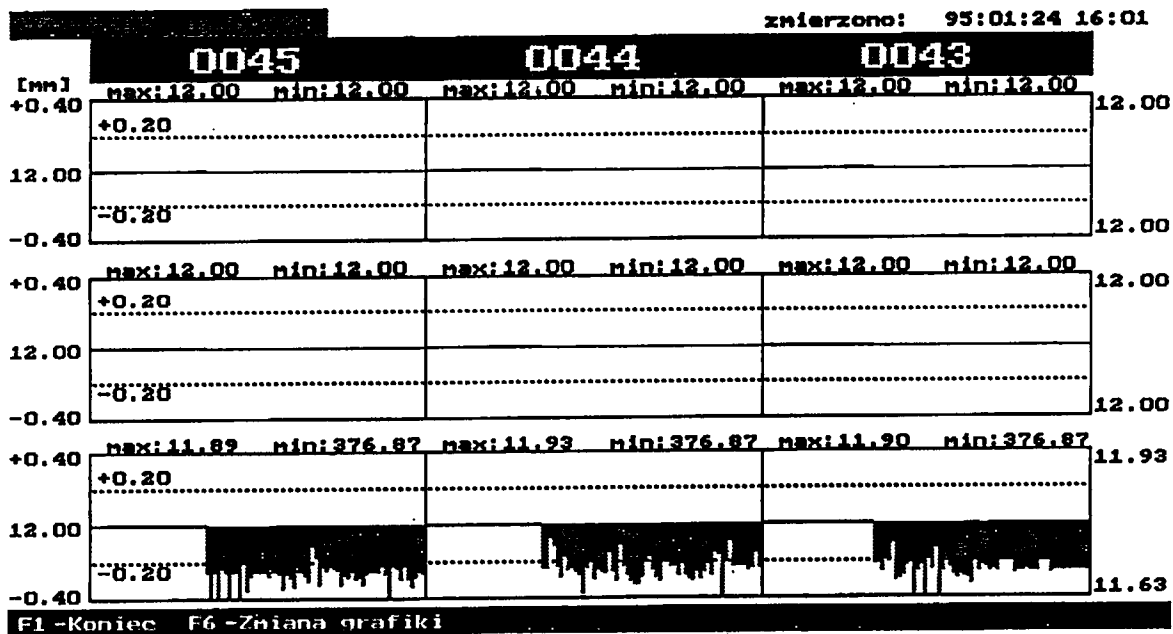
Sterownik (8) nadzoruje pracę wszystkich urządzeń stanowiska pomiarowego (A). Z uwagi na rozproszoną architekturę i fizyczne oddalenie urządzeń wymiana informacji odbywa się przez izolowane galwanicznie łącza szeregowo. Sterownik (8) określa moment wykonania pomiaru, po czym odczytuje wyniki, wyświetlając w czasie rzeczywistym wartość chwilową, średnią, minimalną i maksymalną. Sterownik zapewnia pełną diagnostykę wszystkich głowic pomiarowych stanowiska, wyświetlając informacje o stanach krytycznych (np. błędy komunikacji, brak prądu w polu widzenia kamery, prądów za wąski itp.). Znaczniki błędów umieszczane są również w zbiorze pomiarowym, wysyłanym do terminala (B), umożliwiając bezwzględną sygnalizację niesprawności systemu na ekranie monitora. Wbudowane funkcje konfiguracyjne sterownika (8) umożliwiają określenie sposobu przeprowadzania pomiaru przez zmianę wartości wybranych parametrów roboczych. Programowany może być sposób wyzwalania pomiarów, sposób i częstość próbkowania płyty, sposób obsługi sygnałów obiektowych, czas trwania impulsu synchronizacji itp. Konfiguracja pomiarowa, przechowywana w wewnętrznej pamięci EEPROM, jest odtwarzana po każdym resecie systemu. Dostęp do parametrów chroniony jest za pomocą wielopoziomowego systemu haseł, ograniczającego ingerencję osób niepowołanych.

## 2. Terminal operatorski stanowiska brakarki

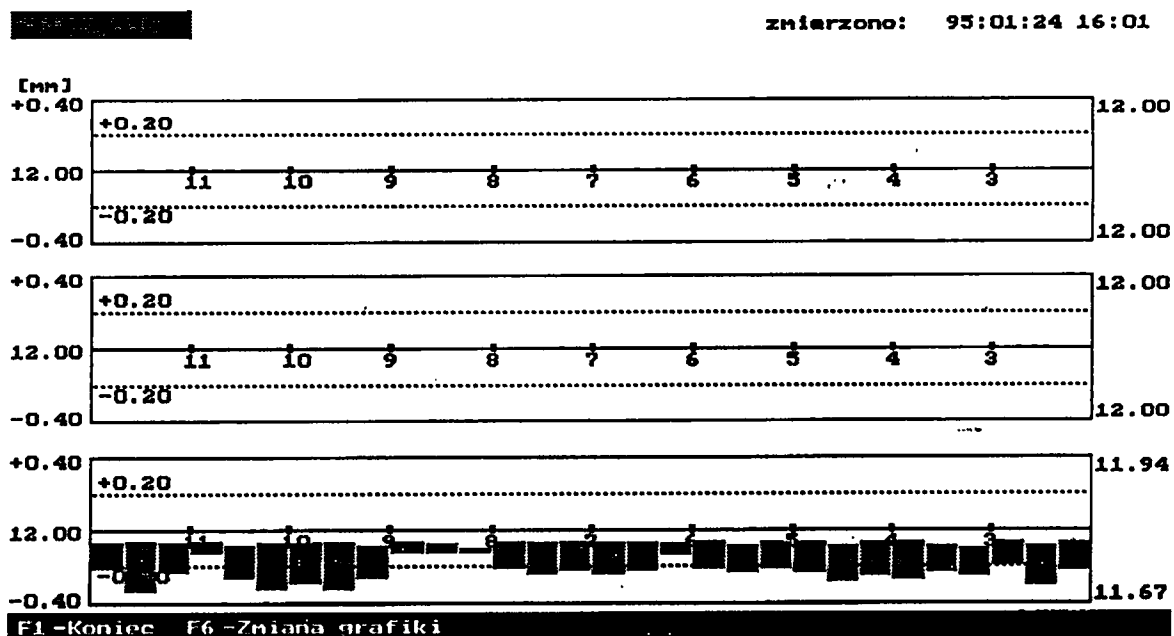
Na ekranie terminala (IBM PC) stanowiska brakarki (B) wyświetlany jest profil aktualnie transportowanej płyty. System wyznacza automatycznie klasę wyrobu, zgodnie z wymaganiami dopuszczalnych odchyłek grubości płyty. Ponieważ nie jest to jedyne kryterium oceny jakości, to ostateczną decyzję pozostawiono brakarce. Użytkownik może określać grubości nominalne i klasy dokładności zależnie własnych wymagań.

Dane pomiarowe są wizualizowane za pomocą dwóch okien graficznych, przedstawionych na rys.3 i rys.4. W oknie nr 1 wyświetlane są odchyłki grubości pojedynczej płyty, podzielonej ze względów technologicznych na trzy części, tzw. formatki. Odchyłki mieszczące się w granicach tolerancji klasy pierwszej (-0.20, +0.20) mm są obrazowane kolorem zielonym; odchyłki większe (-0.40, +0.40) mm - kolorem czerwonym. W górnej części ekranu wyświetlane są kolejne numery zmierzonych formatek, data, czas pomiaru oraz czas bieżący. W oknie nr 2 wizualizowana jest historia ostatnich dziesięciu zmierzonych płyt (30 formatek), co ułatwia obserwację tendencji zmian grubości. Informacje o każdej formatce zapisywane są w pliku archiwizacyjnym na twardym dysku, zawierającym wyniki pomiarów wykonanych w ciągu jednej doby.

Oddalenie miejsca pomiaru (A) od miejsca wizualizacji płyty (B) wymaga zsynchronizowania wyświetlania odpowiedniego profilu z procesem transportu płyty wzdłuż linii technologicznej. Jest to możliwe dzięki współpracy terminala brakarki (B) ze sterownikiem linii technologicznej (C), nadzorującym kolejne czynności



Rys.3. Wizualizacja profilu płyty na ekranie monitora - Okno 1.



Rys.4. Wizualizacja historii ostatnich 10 płyt - Okno 2.

produkcyjne. Ponieważ pomiar płyty i transmisja wyników odbywają się w trakcie wykonywania jednej z czynności technologicznych, położenie ostatnio zmierzonej płyty jest jednoznacznie określone w procesie produkcji. Natychmiast po odebraniu zbioru pomiarowego, terminal żąda od sterownika linii technologicznej (C) przypisania numeru technologicznego zmierzonej płycie. Zwrotnie odczytuje numer płyty aktualnie transportowanej przed stanowiskiem brakarki (B), wyświetlając odpowiedni profil na ekranie monitora. Wyniki pomiarów wyświetlane są dodatkowo w postaci liczbowej na panelu obiektywnym (D), zamontowanym na stanowisku szlifierki, ułatwiającym bieżącą ocenę stanu taśm ściernych i ich wymianę w odpowiednim momencie.

### **3. Funkcje autodiagnostyki systemu**

System pomiarowy składa się z rozproszonych po obiekcie przemysłowym urządzeń, wyznaczających w sposób naturalny jego architekturę. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi urządzeniami odbywa się przez łącza szeregowo, zgodnie z odpowiednimi protokołami. Z uwagi na stałą obecność operatora przy stanowisku brakarki (B) w oprogramowanie terminala wbudowano funkcje diagnostyki poprawności pracy całego systemu. Pojawienie się błędów transmisji pomiędzy terminalem stanowiska brakarki (B), sterownikiem stanowiska pomiarowego (A), sterownikiem linii technologicznej (C) i wyświetlaczem obiektywnym (D) nie powoduje zawieszenia programu. Komunikat o wystąpieniu błędu jest wyświetlany na ekranie monitora. W chwili odzyskania poprawnej łączności terminal automatycznie podejmuje dalszą pracę. Stany krytyczne, wymagające ingerencji operatora, sygnalizowane są dodatkowo sygnałem akustycznym.

## **SYSTEM FOR TOUCHLESS MEASUREMENT OF THICKNES OF CHIPBOARDS**

### **Abstract**

The report describes a distributed system for thicknes measurement of chipboards, developed in Industrial Research Institute for Automation & Measurements (PIAP). Thickness of the board, being transported durig manufacturing, is measured in three differential channels, each consting of two microcontroller based CCD cameras and laser line generators. Final results are transmitted via the serial bus to the remote terminal, displaying the board profile on a graphic screen. Application dependent span is 80 mm, with 0.1 mm accuracy and 0.03 mm resolution.