

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
W GLIWICACH

SEMINARIUM

Z OKAZJI 80 ROCZNICY URODZIN
PROF. EDMUNDA ROMERA

na temat:

1. WZORCE I DOKŁADNE POMIARY WIELKOŚCI
ELEKTRYCZNYCH
2. MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE

GLIWICE
22 maja 1984

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
W GLIWICACH

SEMINARIUM

Z OKAZJI 80 ROCZNICY URODZIN
PROF. EDMUNDA ROMERA

na temat :

1. WZORCE I DOKŁADNE POMIARY WIELKOŚCI
ELEKTRYCZNYCH
2. MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE

GLIWICE
22 maja 1984

S P I S T R E Ś C I

| | |
|--|----|
| 1. Józef NOWAK, Włodzimierz SZMELCER | |
| Produkcja aparatury pomiarowej i wzorców wielkości elektrycznych w ZZG INCO | 5 |
| 2. Marian MIŁEK | |
| Brzegład opracowań Instytutu Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej Politechniki Śląskiej w dziedzinie dokładnych pomiarów wielkości elektrycznych ... | 13 |
| 3. Józef KOSZĘWSKI | |
| Rozwój miernictwa przemysłowego | 29 |
| 4. Jerzy FRĄCZEK | |
| Rozwój dydaktyki w dziedzinie Miernictwa Przemysłowego w Politechnice Śląskiej | 49 |

Józef NOWAK, Włodzimierz SZMELCER

PRODUKCJA APARATURY POMIAROWEJ I WZORCÓW WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH W ZZG INCO

Powstanie Zakładu Produkcji Aparatury Pomiarowej i Automatyki należącego do Zjednoczonych Zespołów Gospodarczych /ZZG INCO/, było ściśle związane z działalnością Zakładu Optyki i Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Śląskiej w Gliwicach /ZOMP/ [1], [2]. Należy przypomnieć, że w końcu lat 50-tych rozwój ZOMP-u, kierowanego przez profesora Edmunda Romera, stworzył potrzebę przekazania nadmiaru produkcji. Realizacją tej inicjatywy Profesora było powołanie 10 marca 1961 roku nowego zakładu ZZG INCO w Gliwicach. W założeniach zakład ten miał być początkowo komplementarnym dla ZOMP-u, przejmując część opracowań, doświadczonych pracowników oraz charakterystyczne wzorce działania.

W dniu inauguracji działalności zakładu, Profesor w swoim przemówieniu przedstawił najważniejsze cele i sposób ich realizacji. Wskazał również na trudności i zagrożenia.

A oto słowa Profesora [3]:

"Praca ludzka jest najważniejszą wartością w każdym postępowym społeczeństwie. Doświadczenie i wiedza jest najtrwałszym i najcenniejszym wynikiem tej pracy.

Doświadczenie i wiedza - to niezbędny fundament wszelkich przedsięwzięć technicznych, ale równocześnie to roślina bardzo delikatna, wymagająca odpowiedniej atmosfery i klimatu.

Doświadczenie i wiedza, to nie tylko warunek rozwoju gospodarczego, ale również ważny składnik kultury narodowej.

Nowy Zakład INCO podejmuje produkcję w oparciu o przeszło 20-letnie doświadczenia - w tak trudnej dziedzinie, jaką jest budowa aparatury pomiarowo-kontrolnej. Podejmowane zadania należą do tych, bez których nowoczesne społeczeństwo nie może istnieć. Realizacja tych zadań jest możliwa, gdy skarb doświadczenia i wiedzy skojarzy się z inicjatywą, wolą działania, wytrwałością i sumiennością".

Jak dalekowzroczne było to spojrzenie, pokazały dalsze losy Zakładu. W pierwszym 14-letnim okresie działalności nastąpił szybki i równomierny rozwój, zgodny z metodą Profesora - budowanie "cegielek", z których tworzy się bardziej złożona dzieła. Metoda ta preferowała budowę solidnych podstaw produkcji Zakładu i stopniowe opanowywanie coraz trudniejszych wyrobów. Starano się również zazczepić styl stosunków międzyludzkich oparty na serdeczności i osobistym przykładzie. Przyjęcie takich wzorców działania dało po raz trzeci dobre rezultaty uwzględniając poważne osiągnięcia przedwojennego Zakładu Profesora we Lwowie /LER/ [1].

Drogę rozwoju produkcji zakładu ZZG INCO najlepiej charakteryzuje

przedstawiony w Dodatku Rejestr Wyrobów [4]. W omawianym okresie opracowano i wprowadzono do produkcji 93 wyroby. Do najpoważniejszych osiągnięć zaliczyć należy zestaw oporników wzorcowych, stanowiących podstawowe wyposażenie krajowych laboratoriów i służb metrologicznych, transfery Hamona, ogniwa wzorcowe, zestaw mostków procentowych oraz precyzyjne rezystory drutowe serii RM.

Krajową produkcję oporników wzorcowych rozpoczęto z inicjatywy profesora Edmunda Romera w roku 1951 w ZOMP-ie. Opracowano też pierwszy komparator wzorców, znajdujący się obecnie w Okręgowym Urzędzie Miar i Wag w Katowicach.

Dalszym udoskonaleniem oporników wzorcowych zajął się mgr inż. Józef Wajchenig, pracując równocześnie w obu zakładach. Powstał też nowy model komparatora [6]. W dziedzinie oporników wzorcowych Zakład ściśle współpracował z Centralnym Urzędem Jakości i Miar /później PKNiM, PKNMiO/, Instytutem Elektrotechniki w Warszawie oraz Instytutem Metrologii Elektrycznej we Wrocławiu. Opracowana norma zakładowa na oporniki wzorcowe serii RN, opiniowana przez Profesora stanowiła podstawę późniejszej normy PN-65/E-06509. Oporniki RN wyróżniały się stabilnością długoterminową, znaczną mocą dopuszczoną oraz solidną budową. Cechy te zapewniły bardzo długi okres eksploatacji. Spotykane są oporniki 20-letnie z aktualną legalizacją, potwierdzającą nadaną przez Zakład klasę. Wszystkie eksploatowane oporniki wzorcowe mają co najmniej 8 lat, z uwagi na zakończenie ich produkcji w roku 1976.

Wzorując się na technologii wykonania oporników wzorcowych RN2 i RN3 opracowano technologię produkcji boczników, która do chwili obecnej stosowana jest w LUMEL-u w Zielonej Górze.

W omawianym okresie laboratorium zakładowe zyskało uprawnienia punktu legalizacyjnego i należało do jednych z lepiej wyposażonych w kraju. Tutaj też opracowano technologię wytwarzania transferów Hamona o doskonałych własnościach metrologicznych [5], [7].

W zakresie oporników wzorcowych Zakład stał się jedynym producentem krajowym, natomiast w przypadku ogniw wzorcowych był współproducentem wraz z zakładem macierzystym /ZOMP/. Wszystkie ogniwa Westona wyszły spod tej samej ręki pani docent Marii Kuczyńskiej. W zakładzie ZZG INCO produkowano laboratoryjne ogniwo nasycone typu H oraz nowo opracowane jednokolumnowe ogniwo nasycone, przeznaczone do zabudowania bezpośrednio w przyrządach pomiarowych. W praktyce, ogniwo jednokolumnowe odznaczało się stosunkowo dużą odpornością na nieostrożną obsługę.

Uzupełnieniem programu produkcji wzorców wielkości elektrycznych były powietrzne stałe kondensatory wzorcowe.

Dobrym przykładem kompleksowego przygotowania produkcji były precyzyjne rezystory drutowe, stanowiące jedną ze specjalności Zakładu. Rezystory tego typu produkowane są do chwili obecnej i nie posiadają odpowiedników w produkcji krajowej. Między innymi stosowane są we wszystkich woltomierzach cyfrowych produkcji Meratronik.

Przygotowanie produkcji wymagało opracowania specjalistycznych nawija-

rek, umożliwiającących nawijanie drutów o średnicy od 12 μm z naciągami pojedynczych gramów. Ponadto opracowano i wykonano zestaw mostków procentowych do pomiaru rezystancji od 0,1 Ω do 100 M Ω . Skonstruowane urządzenie i technologię wykorzystano w filii zakładu w Radlinie oraz później w "Energoaparaturze" w Katowicach.

Drugi, niezwykle brzemienny w skutki okres istnienia Zakładu rozpoczął się w roku 1975. Arbitralną decyzję włączenia Zakładu do przemysłu terenowego spowodowała konieczność całkowitej zmiany produkcji. - Z aparatury pomiarowej na gongi i dzwonki! Do przejęcia dotychczasowej produkcji wytypowano część zakładu "Energoaparatura" w Katowicach. Tem też przekazano nieodpłatnie dokumentację i oprzyrządowanie technologiczne. Należy dodać, że do chwili obecnej "Energoaparatura" opanowała dwa niewiele różniące się wyroby: miniaturowy opornik dekadowy i dzielnik napięcia w układzie Feusenera. W ZZG INCO zdołano częściowo utrzymać jedynie produkcję precyzyjnych rezystorów, dzięki naciskom ze strony tradycyjnych odbiorców - ELWRO i MERATRONIK.

Konsekwencją tych decyzji była degradacja techniczna Zakładu. Odeszła część wysokokwalifikowanej załogi a wyposażenie laboratorium przekazano innym instytucjom. Skutki ówczesnych decyzji odczuwane są do chwili obecnej.

Możliwość zmiany sytuacji zarysowała się w roku 1980. Przerwanie dotychczasowej produkcji w ZZG INCO i niepojawienie się nowych producentów wywołało trwałe braki łagodzone przez kosztowny import. Powoli narastało przekonanie o konieczności reaktywowania produkcji klasycznej aparatury pomiarowej i jej wyposażenie.

Jednocześnie powrócił do Zakładu pierwszy dyrektor. Uzdrawiona została działalność finansowa i administracyjna. Można już było pomyśleć o rozszerzeniu produkcji. Wzorując się na wcześniejszych doświadczeniach rozpoczęto produkcję oporników dekadowych, dzielników napięć i oporników wzorcowych. Opracowano technologię i rozpoczęto produkcję niklowego opornika termometrycznego dla potrzeb "Dolmelu" we Wrocławiu eliminując kosztowny import. Wdrożono również do produkcji wysokiej klasy indukcyjny dzielnik napięcia opracowany w Instytucie Metrologii Elektrycznej Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Jednocześnie rozpoczęto budowę laboratorium wyposażonego w pełną klimatyzację. Przy organizacji laboratorium nawiązano ścisłą współpracę z PKNMiD oraz z Instytutem Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej jak i Instytutem Elektroniki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Pracownicy tych instytutów pełnią funkcje doradców naukowych i naukowo technicznych Zakładu. W miarę potrzeb korzysta się z doświadczenia pracowników innych instytutów.

Ponowne wejście na tak wymagający rynek jakim są przyrządy pomiarowe i wzorce wielkości elektrycznych, po blisko 10 letniej przerwie jest zadaniem niezwykle trudnym. Zmieniły się wymagania odbiorców i normy krajowe. Nastąpiła również zmiana procedury zatwierdzania tych wyrobów do produkcji. Obecnie produkcja precyzyjnych rezystorów, oporników dekadowych, dzielników napięcia oraz oporników wzorcowych stanowi w przybliżeniu 30%

wartości produkcji. Przewiduje się, że udział ten będzie stopniowo wzrastał.

Blisko 25 letnie doświadczenie ZZG INCO wskazuje jak istotnie "delikatną i wrażliwą roślinką" jest produkcja aparatury naukowej i jej podzespołów. Wola działania i kwalifikacje ludzi są ważnym czynnikiem lecz nie jedynym. Konieczna jest odpowiednia atmosfera i sprzyjające warunki ekonomiczne.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Romer E.: Być użytecznym. Przegląd Techniczny, nr 11, 1983.
- 2 Romer E.: Z historii małych incjatyw. Pomiar Automatyka Kontrola, nr 12, 1983.
- 3 Kronika Zakładu Produkcji Aparatury Pomiarowej i Automatyki ZZG INCO.
- 4 Materiały archiwum biura konstrukcyjnego ZZG INCO w Pyskowicach.
- 5 Skurzak J.: Porównywanie oporników wzorcowych przy dużym ich stosunku. Praca doktorska w IME Politechniki Wrocławskiej, 1973.
- 6 Wajchenig J.: Forschungen in Zusammenhang mit Brückenschaltungen. Internationale Messtechnische Konferenz, Budapest, 1958.
- 7 Dudziewicz J. red.: Etalony i precyzyjne pomiary wielkości elektrycznych. WKT, Warszawa, 1982.
- 8 Dabiński A.: Mierniki przenośne, katalog 67A/I.WEMA, Warszawa, 1973.

DODATEK:

REJESTR WYROBÓW ZZG "Inco" PYSKOWICE

Lata 1961 - 1975

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| 1. Oporniki wzorcowe /0,1Ω do 10 kΩ / | typ RN-1 |
| 2. Opornik wzorcowy /0,01Ω / | typ RN-2 |
| 3. Opornik wzorcowy /0,001Ω/ | typ RN-3 |
| 4. Rezystory | typ RS-5,6,7 |
| 5. Dekada oporowa | typ RPU-17 |
| 6. Rezystory | typ RS-8 |
| 7. Rezystory | typ RS-9 |
| 8. Potencjometr | typ PD-10 |
| 9. Przełącznik uniwersalny | typ PU-10 |
| 10. Przełącznik obrotowy | typ PO-10 |
| 11. Rezystory | typ RS-13 |
| 12. Przełącznik /do dzielnika/ | typ PD-14 |
| 13. Bocznik Ayrtona | typ RG-15 |
| 14. Odczytnik do galwanometru | typ SG-14 |
| 15. Galwanometr zwierciadłowy | typ GZR-4 |
| 16. Opornik dekadowy podwójny | typ DRS-20 |
| 17. Ogniwko wzorcowe /Westona / | typ OP-11 |
| 18. Ogniwko wzorcowe /Westona / | typ OL-12 |
| 19. Przełącznik regulacyjny | typ PR-42 |
| 20. Symulator załadunku statków | typ B-40 |
| 21. Dekada przewodnościowa | typ GPU-25 |
| 22. Opornik kołkowy | typ KR-4-27 |
| 23. Symulator załadunku statków | typ B-80 |
| 24. Opornik dekadowy | typ DR-16 |
| 25. Dzielnik napięcia | typ RN-18 |
| 26. Miernik mocy wyjściowej | typ MM-33 |
| 27. Galwanometr zwierciadłowy | typ GRS-19 |
| 28. Bocznik | typ LB-1 |
| 29. Bocznik | typ LB4-5 |
| 30. Bocznik | typ P-232 |
| 31. Mikrowolter | typ MV-41 |
| 32. Kondensator pomiarowy | typ NMS-42 |
| 33. Rezystory | typ RM-43 |
| 34. Mostek Wheatstone'a | typ WH-45 |
| 35. Mostek Thomsons -Wheatstone'a | typ MWT-45 |
| 36. Rezystory | typ RM-70 |
| 37. Rezystory | typ RM-71 |
| 38. Opornik wzorcowy /100 kΩ i 1 MΩ/ | typ RN-49 |
| 39. Mostek C, tqδ | typ MS-50 |
| 40. Generator RC | typ GMS-51 |

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| 41. Wskaźnik selektywny | typ WMS-52 |
| 42. Naczynie pomiarowe | typ NWS-53 |
| 43. Wzorzec C, $\tau q \delta$ | typ TMS-54 |
| 44. Rezystory | typ ON-2-56 |
| 45. Opornik specjalny | typ OS-58 |
| 46. Symulator załadunku statków | typ B-445 |
| 47. Mostek Wheatstone'a | typ WH-26 |
| 48. Opornik wzorcowy | typ RNH-62 |
| 49. Opornik kołkowy | typ KR-5-27 |
| 50. Kompensator techniczny | typ KT-35 |
| 51. Opornik stosunkowy | typ SR-28 |
| 52. Rezystory | typ RM-67 |
| 53. Rezystory | typ RM-68 |
| 54. Rezystory | typ RM-69 |
| 55. Precyzyjny opornik wielostopniowy | typ RNW-34 |
| 56. Megomierz lampowy | typ MLC-66 |
| 57. Przełącznik | typ PM-30 |
| 58. Galwanometr wskazówkowy | typ GW-29 |
| 59. Mostek Wheatstone'a | typ WH-38 |
| 60. Hemometr | typ HM-37 |
| 61. Megomierz lampowy | typ ML-39 |
| 62. Megomierz lampowy | typ ML-64 |
| 63. Kalibrator napięcia | typ MK-40 |
| 64. Opornik dekadowy kl.0.02 | typ 81 |
| 65. Dekadowy zestaw przewodności | typ DG-82 |
| 66. Mostek termometryczny | typ MT-83 |
| 67. Termokoompensator | typ TK-84 |
| 68. Precyzyjny mostek Wheatstone'a | typ WH-85 |
| 69. Mostek procentowy | typ MP-86 |
| 70. Transfery | typ RNT-87 |
| 71. Transfery | typ RNT-88 |
| 72. Transfery | typ RNT-89 |
| 73. Kondensatory wzorcowe | typ CN-90 |
| 74. Kondensatory wzorcowe | typ CN-91 |
| 75. Zasilacz | typ ZKT-92 |
| 76. Miniaturowy opornik dekadowy | typ MDR-93 |
| 77. Miniaturowy dzielnik napięcia | typ MDN-94 |
| 78. Mostek Wheatstone'a | typ MWH-95 |
| 79. Mostek tolerancji | typ MP-96 |
| 80. Kompensator uniwersalny | typ MKU-97 |
| 81. Kompensator laboratoryjny | typ MKL-98 |
| 82. Przełącznik | typ PUM-100 |
| 83. Przełącznik duży | typ PUO-101 |
| 84. Dekada oporowa | typ MD-102 |
| 85. Dzielniki napięcia | typ PN-103 |

| | |
|---|------------|
| 86. Elektroniczny kompensator laboratoryjny | typ KL-104 |
| 87. Termokompensator | typ KL-105 |
| 88. Kompensator laboratoryjny | typ KL-106 |
| 89. Komparator oporu | typ KL-107 |
| 90. Wskaźnik zera | typ WZ-108 |
| 91. Mostek procentowy | typ MP-109 |

Lata 1975 - 1980

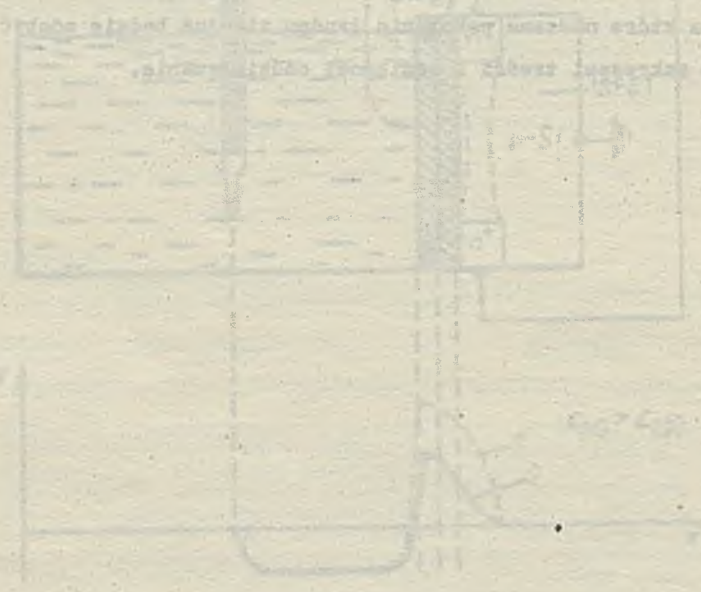
| | |
|---|-------------|
| 92. Dzwonek do sygnalizacji przyzywowej | typ -110 |
| 93. Zasilacz samochodowy | typ -111 |
| 94. Dzwonek domowy | typ -112 |
| 95. Gong -220V | typ -113 |
| 96. Ruletka elektroniczna | typ -114 |
| 97. Zasilacz pneumatyczny | typ ZP-116 |
| 98. Przerywacz świateł awaryjnych | typ P4A-116 |
| 99. Kompresor samochodowy | typ KS-117 |
| 100. Skrzynka do transportu złączek | typ -118 |
| 101. Komplet obwodu świateł awaryjnych | typ WS-119 |

Lata 1981 - 1983

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 102. Rezystor RN-100 | typ -120 |
| 103. Indukcyjny dzielnik napięcia | typ ID-121 |

... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..



... ..
... ..
... ..

Marian MILEK

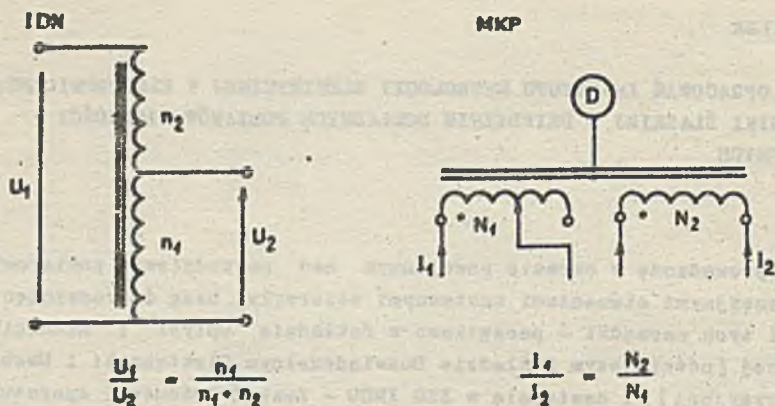
PRZEGLĄD OPRAWOŃ INSTYTUTU METROLOGII ELEKTRYCZNEJ I ELEKTRONICZNEJ
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ W DZIEDZINIE DOKŁADNYCH POMIARÓW WIELKOŚCI
ELEKTRYCZNYCH

1. Wstęp

Prace prowadzone w okresie powojennym nad narzędziami pomiarowymi z rezystancyjnymi elementami nastawnymi stworzyły bazę do rozwinięcia produkcji tych narzędzi - początkowo w Zakładzie Optyki i Mechaniki Precyzyjnej (późniejszym Zakładzie Doświadczelnym Elektroniki i Mechaniki Precyzyjnej) i następnie w ZZG INCO - Zakład Produkcji Aparatury Pomiarowo-Kontrolnej w Pyskowicach. W wyniku rozwinięcia tej produkcji na przełomie lat 60 i 70-tych osiągnięto kres technologicznych możliwości udoskonalenia takich narzędzi pomiarowych jak opornice dekadowe, dzielniki napięcia, mostki, kompensatory itp. Pod względem jakości wymienione narzędzia pomiarowe nie ustępowały produkowanym przez renomowane firmy światowe.

Zasadniczą wadą klasy narzędzi pomiarowych z rezystancyjnymi elementami nastawnymi, ograniczającą ich rozwój, jest nieliniowość nastawienia rezystancji - tzn. jednokowym zmianom nastawy przełączników nie odpowiadały jednokowe przyrosty rezystancji. Dalszy rozwój tych narzędzi pomiarowych uzależniony był od skoku jakościowego w konstrukcji i technologii elementów nastawnych. Skok ten umożliwiło opanowanie technologii materiałów magnetycznych o bardzo dużej wartości przenikalności magnetycznej względnej, dochodzącej do 10^6 . Zastosowanie magnetowodów wykonanych z takich materiałów, do znanych wcześniej konstrukcji autotransformatorów i transformatorów różnicowych, oraz udoskonalenie tych konstrukcji dało jakościowo nowe narzędzia pomiarowe: indukcyjne dzielniki napięcia (IDN) oraz magnetyczne komparatory prądowe (MKP) - ich schematy ideowe przedstawiono na rysunku 1.

Na rys.1 przedstawiono schematy najprostszych układów - IDN jednodekadowego, o schemacie połączeń analogicznym do schematu połączeń rezystancyjnego dzielnika napięcia (RDN), oraz MKP dwuuzwojeniowego, w którym stosunek natężeń prądów, dla zerowego wskazania detektora D stanu równowagi sił magnetomotorycznych, jest równy stosunkowi liczb zwojów odpowiednich uzwojeń. Magnetyczny komparator prądów może stanowić pewną analogię do rezystancyjnego dzielnika prądów (RDP) w którym stosunek natężeń prądów jest równy stosunkowi odpowiednich rezystancji dzielnika. Jakościową różnicę obu klas narzędzi pomiarowych z rezystancyjnymi elementami nastawnymi (RDN, RDP), oraz z elementami nastawnymi wykonanymi na magnetowodach (IDN, MKP) ilustruje tablica 1.



Rys. 1. Schematy ideowe indukcyjnego dzielnika napięcia (IDN) oraz magnetycznego komparatora prądów (MKP)

Tablica 1

| Parametr | Rezystancyjne dzielniki | | Indukcyjne dzielniki napięcia IDN | Magnetyczne komparatory prądowe MKP |
|----------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | napięcia RDN | prądu RDP | | |
| Błąd | $10^{-4} \dots 10^{-5}$ | | $10^{-6} \dots 10^{-8}$ | |
| Stabilność czasowa | $1 \cdot 10^{-6}$ 1/rok | | $2 \cdot 10^{-9}$ 1/rok | |
| Wrażliwość na zmianę temperatury | $5 \cdot 10^{-5}$ 1/K | | $5 \cdot 10^{-10}$ 1/K | |
| Impedancja wejściowa | 10 kΩ | — | 50 kΩ | Impedancja uzwojeń zależna od MKP |
| Impedancja wyjściowa | 0 ... 10 kΩ | | 5Ω | |

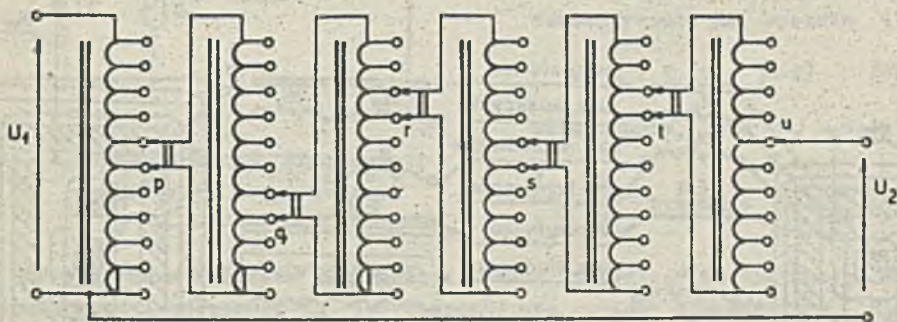
Zestawiono w niej znane z prac [1], [6] i innej typowe wartości podstawowych parametrów obu klas narzędzi pomiarowych. Błędy zamieszczone w tabelicy 1 są funkcją częstotliwości - wartości minimalne przyjmują w określonym paśmie częstotliwości. W przypadku MKP rezystancje uzwojeń zależą od ich konstrukcji, a też z kolei od nominalnych natężeń prądów

obu uzwojeń. Prądy płynące przez uzwojenie są prądami wymuszonymi - stąd rezystancje uzwojeń (jako cecha metrologiczna MKP) odgrywają rolę drugorzędną.

IDN oraz MKP stosowane są m.in. jako podzespoły komparatorów wzorcowych reaktancji (komparatory C-C lub C-L), rezystancji lub innych precyzyjnych układów pomiarowych (np. układów do wyznaczania błędów przekładników prądowych). Podzespoły te są bardziej złożone w porównaniu z przedstawionymi schematycznie na rysunku 1: IDN jest wykonany jako wielodekadowy w układzie Kelvina-Varleya; natomiast MKP posiada dodatkowe uzwojenie oraz ekrany magnetyczne.

2. Wielodekadowy IDN

Schemat ideowy 6-cio dekadowego IDN połączonego w układzie Kelvina-Varleya przedstawiono na rys. 2.



$$\frac{U_1}{U_2} = 10^{-1}p + 10^{-2}q + 10^{-3}r + 10^{-4}s + 10^{-5}t + 10^{-6}u$$

Rys. 2. Schemat ideowy 6-cio dekadowego IDN w układzie Kelvina-Varleya

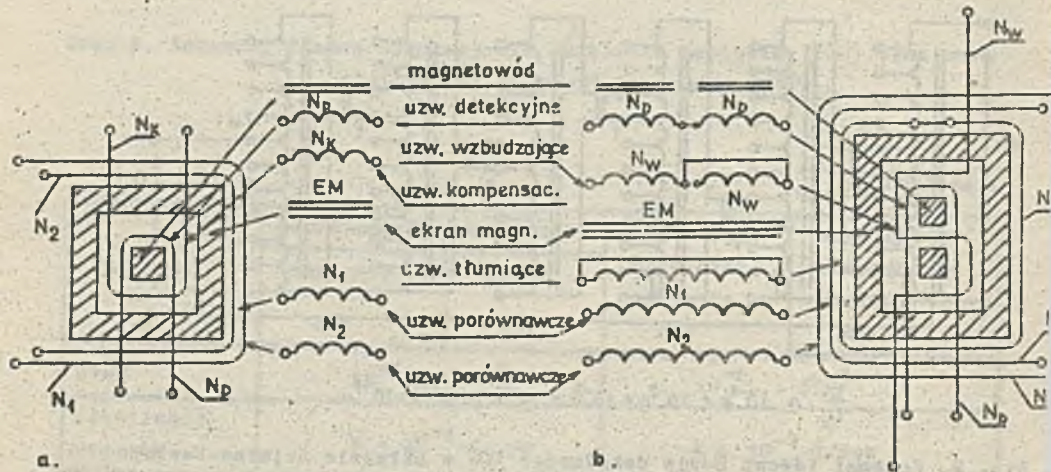
Każda dekada dzielnika wykonana jest na oddzielnym magnetowodzie, umieszczonego w karkasie (np. tekstolitowym). Uzwojenie nawinięte jest wiązką multifilarną, przy czym każdy przewód wiązki tworzy jedną sekcję. Głównymi źródłami błędów takiego IDN są prądy obciążenia wewnętrznego (spowodowane admitancjami międzysekcyjnymi oraz doziemnymi) oraz prądy obciążenia zewnętrznego, spowodowane skończoną impedancją wejściową kolejnych stopni dzielnika i impedancją dołączoną do wyjścia dzielnika. Wpływ prądów obciążenia wewnętrznego eliminuje się poprzez ich wyrównanie, [1], [10]. natomiast wpływ obciążenia zewnętrznego można wyeliminować w konstrukcji dwurdzeniowej IDN [1]. Błędy wykonywanych w Instytucie Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej Pol. Śl. jednordzeniowych IDN są mniejsze niż 10^{-6} w zakresie dolnych częstotliwości akustycznych; zastosowanie konstrukcji dwurdzeniowej rozszerza zakres częstotliwości do ok. 30 kHz.

Ze względu na istniejące zapotrzebowanie IDN jednordzeniowe zostały

wdrażone do produkcji w ZZG INCO w Pyskowicach, gdzie po wykonaniu prototypów przystąpiono do produkcji małoseryjnej.

3. Magnetyczne komparatory prądowe

Zadaniem MKP jest porównanie natężeń dwóch prądów doprowadzonych do uzwojeń komparatora N_1 oraz N_2 , (rys. 3) - może ono być realizowane dla prądów przemiennych oraz stałych. Inną będzie zasada działania detektora zerowej różnicy sił magnetomotorycznych w magnetowodzie. W przypadku MKP przemiennych, w celu detekcji zerowej wartości pochodnej strumienia (odpowiadającego sile magnetomotorycznej) na magnetowodzie nawija się uzwojenie detekcyjne, w sposób przedstawiony na rys. 3a. W MKP stałych detektorem jest przetwornik siły magnetomotorycznej - dalej w czasie na napięcie przemiennie (tzw. modulator parzystych harmonicznych), [2], [6], którego schemat połączeń przedstawiony jest na rysunku 3b.

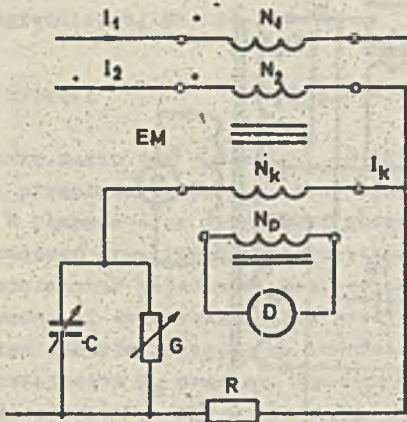


Rys. 3. Widok przekroju poprzecznego i schemat elementów MKP prądów przemiennych (a) oraz stałych (b)

Istotnym elementem w MKP są ekrany magnetyczne, wykonane w postaci toroidów osłaniających detektor (magnetowody z uzwojeniami). Oddzielają one uzwojenia porównawcze N_1 oraz N_2 od detektora sił magnetomotorycznych i prawie całkowicie zwierają strumienie rozproszenia uzwojeń oraz zakłócające. Dzięki temu w MKP zależność sił magnetomotorycznych oraz strumieni jest spełniona z błędem $10^{-6} \dots 10^{-9}$. W MKP stałych dodatkowym elementem jest uzwojenie tłumiące; jego rola została opisana w pracy [8].

Jeżeli wyznaczamy stosunek sił magnetomotorycznych obu uzwojeń jest w przybliżeniu równy jedności - w MKP można wykorzystać dodatkowe uzwojenie kompensacyjne N_k . W uzwojeniu tym wymusza się przepływ prądu I_k

w sposób przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Schemat obwodu kompensacji MKP prądu przemiennego.

W MKP stałych, w obwodach kompensacji można zmieniać konduktancję G , liczbę sekcji uzwojenia N_K , lub stosować oba sposoby równocześnie. Dla prądu przemiennego - wymuszenie prądu I_K za pomocą elementów G oraz C można zastąpić układami elektronicznymi.

4. Komparatory impedancji

Opanowanie technologii IDN oraz MKP o błędach rzędu 10^{-6} umożliwiło realizację precyzyjnych komparatorów impedancji. W komparatorach tych IDN lub MKP są elementami nastawnymi - wynik komparacji można otrzymać z błędem tego samego rzędu co błędy IDN oraz MKP, [7]. Cechą charakterystyczną precyzyjnych komparatorów impedancji jest zastosowanie w ich konstrukcji złożonych układów elektronicznych. Układy te spełniają dwie funkcje:

- zapewniają odpowiednie warunki komparacji impedancji dotyczące zasilania (wysokostabilne generatory napięcia lub prądu), detekcji stanu równowagi komparatora (odpowiednio czułe detektory stanu) kompensacji), niezależnego odczytu (np. odczytu $\operatorname{tg} \delta$ w komparatorach pojemności);
- eliminują wpływ źródeł błędów, takich jak np. impedancje uzwojeń MKP, impedancje doprowadzeń do impedancji mierzonej i wzorcowej, wpływ prądów obciążenia IDN itp.

Na rys. 5. przedstawiono uproszczony schemat ideowy, opracowanego w IMEiE, komparatora pojemności porównującego pojemności o zakresie $1-10^5$ pF i $\operatorname{tg} \delta_X - \operatorname{tg} \delta_N = 0,1 \dots - 0,1$ z niedokładnością mniejszą niż

Wtedy] równanie sił magneto-
motorycznych przyjmuje postać:

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 + I_K N_K \quad (1)$$

Stąd:

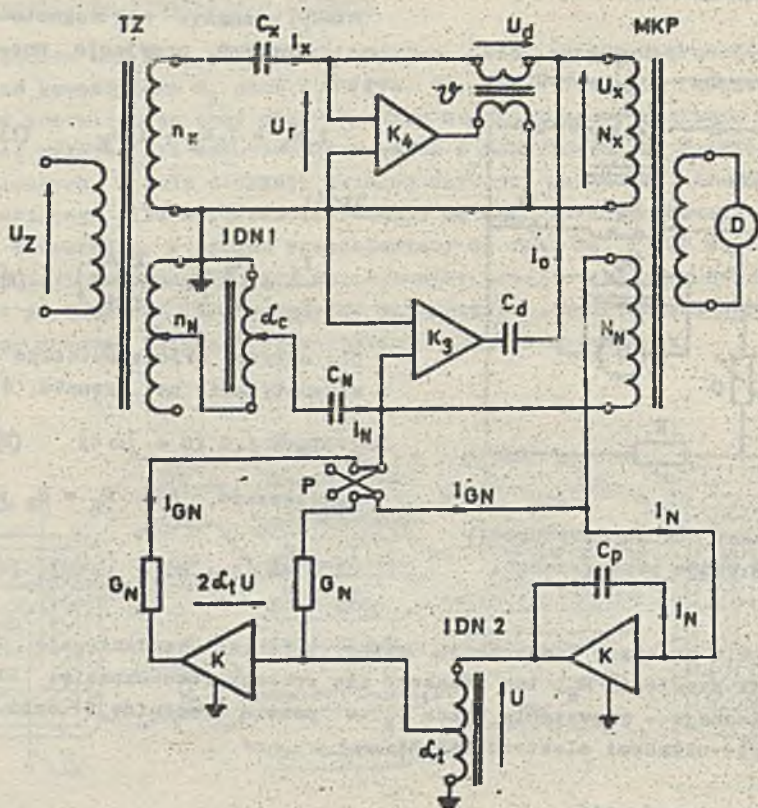
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \left(1 + \frac{I_K N_K}{I_2 N_2} \right) \quad (2)$$

Dla układu przedstawionego schematycznie na rysunku 4:

$$I_K \approx I_2 R (G + j\omega C) \quad (3)$$

Ostatecznie, dla $N_K = N_2$:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} (1 + RG + j\omega RC) \quad (4)$$



Rys. 5. Schemat ideowy komparatora pojemności

10^{-5} ; [11]. Komparator posiada jeden wzrzesz o pojemności $C_N = 1000 \text{ pF}$, natomiast zmiany zakresów realizowane są poprzez zmianę liczb zwojów transformatora wzmacniającego (TZ) oraz komparatora prądów (MKP). Komparator posiada układy minimalizujące wpływ impedancji przewodów łączących i uzwojeń MKP. W stanie równowagi komparatora mierzona pojemność jest równa:

$$C_X = \frac{n_N}{n_X} \cdot \frac{N_N}{N_X} \alpha_C C_N \quad (5)$$

gdzie α_C - nastawa IDN 1

Różnicę $(\operatorname{tg} \delta_X - \operatorname{tg} \delta_N) = \operatorname{tg} \delta$ wyznoszą się w dodatkowym układzie wymuszenia składowej czynnej prądu płynącego przez uzwojenie N_N MKP. Integrator składający się ze wzmacniacza K_1 oraz kondensatora C_p wytwarza na wyjściu napięcie U przesunięte względem prądu I_N o kąt $\pi/2$. Pod wpływem części $\alpha_t U$ tego napięcia w uzwojeniu N_N płynie prąd I_{GN} równy:

$$I_{GN} = I_N \cdot \alpha_t \cdot G_N \frac{1}{\omega C_p} \quad (6)$$

Uwzględniając, że $\operatorname{tg} \delta = \frac{I_{GN}}{I_N}$ (7)

otrzymano: $\operatorname{tg} \delta = \alpha_t \cdot \frac{G_N}{\omega C_p}$ (8)

Zmianę znaku $\operatorname{tg} \delta$ (dla $\operatorname{tg} \delta_N > \operatorname{tg} \delta_X$) realizuje się przez zmianę kierunku przepływu prądu I_{GN} , przy pomocy przełącznika P.

W komparatorze pojemności znaczącym źródłem błędów są impedancje doprowadzeń oraz impedancje reszkowe uzwojenia N_N oraz N_X . W opracowanym komparatorze pojemności zastosowano dwa sposoby minimalizacji wpływu impedancji doprowadzeń oraz uzwojeń MKP. Pierwszy sposób, eliminujący wpływ spadków napięcia na impedancji połączenia kondensatora wzorcowego z uzwojeniem N_N oraz na impedancji tego uzwojenia polega na wymuszeniu w uzwojeniu N_X MKP - prądu I_0 , kompensującego zmniejszenie prądu I_N spowodowane wymienionymi impedancjami. Dla wzmocnienia wzmacniacza $K_3 = -1$ warunkiem eliminacji wpływu impedancji doprowadzeń i uzwojenia N_N jest zależność; [2] :

$$\frac{C_d}{C_N} \cdot \frac{N_X}{N_N} = 1 \quad (9)$$

Spadki napięcia U_X na impedancjach przewodów i uzwojeń N_X w obwodzie prądu I_X wyeliminowano drugą metodą, polegającą na wprowadzeniu do obwodu dodatkowego napięcia U_d równego ($-\Delta U_X$). Iloczyn przekładni transformatora ψ oraz wzmocnienia wzmacniacza K_4 powinien dążyć do nieskończoności; wtedy:

$$U_r = \frac{\Delta U_X}{1 + K_4 \psi} \rightarrow 0 \quad (10)$$

W praktyce wystarczy $K_4 = 100$ oraz $\psi = 10$.

Generator zasilający oraz detektor są typowymi przyrządami produkowanymi przez UNIPAN (generator PO 21 oraz nenowoltomierz U 227).

Kolejnym układem komparatora opracowanym w IMEiE jest komparator reaktancji, umożliwiający komparację indukcyjności ze wzorcową pojemnością [5]. Na rys. 6. przedstawiono uproszczony schemat ideowy tego komparatora o danych:

zakres pomiaru indukcyjności L_X : 0,1 μ H... 1,1 H

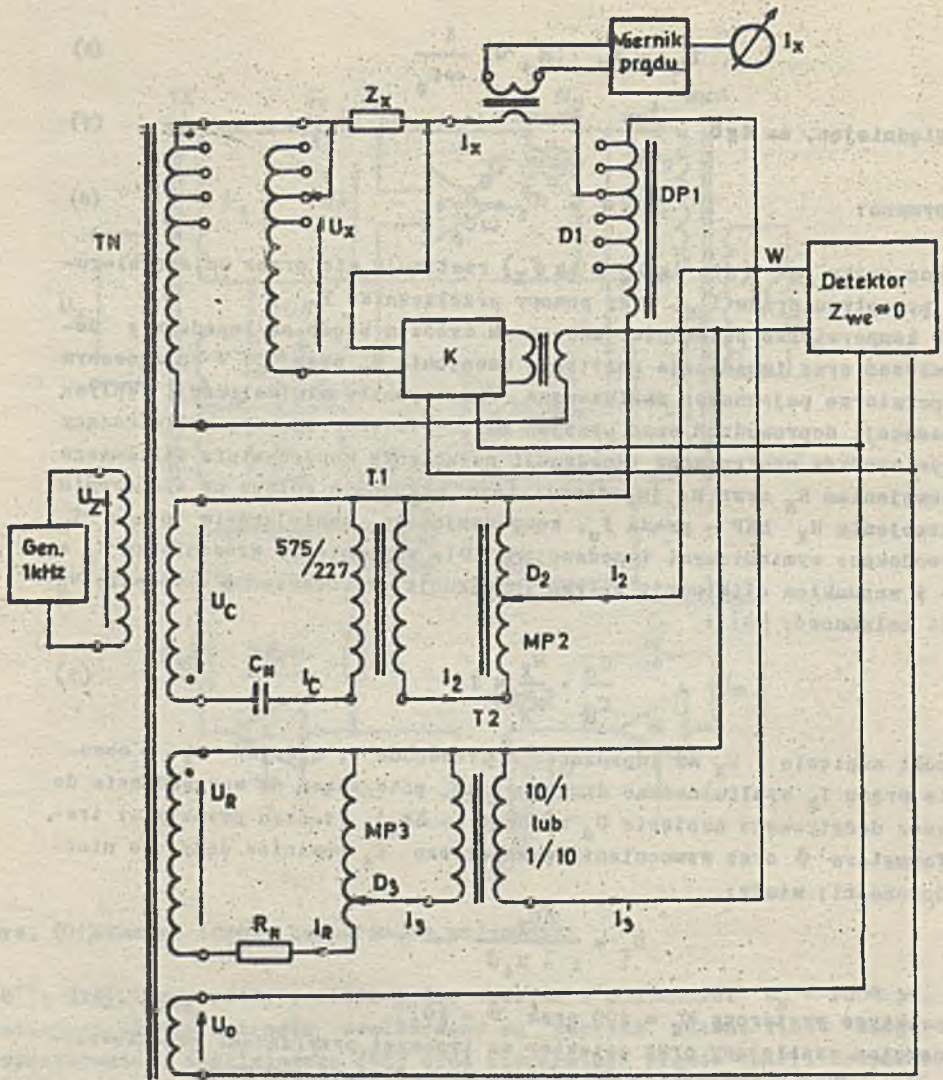
zakres pomiaru dobroci mierzonych cewek Q: 0,16 ... 1600

napięcie na mierzonej indukcyjności: 5,3 mV ... 265 V

natężenie prądu płynącego przez cewkę: 0 ... 3 A

błąd pomiaru indukcyjności L_X : $< 10^{-4}$

błąd pomiaru Q (dla $\operatorname{tg} \delta_{CN} < 10^{-4}$): $< 10^{-3}$



Rys. 6. Schemat ideowy komparatora L - C

W komparatorze tym zastąpiono komparację prądów - kompensacją prądów w węzle W. Dodatkowo przesunięcie prądu płynącego przez pojemność (kompensującego składową indukcyjną prądu I_x) zrealizowano przesuwając napięcie zasilania o kąt π - poprzez zmianę końcówek uzwojenia transformatora TN. W dokładnych pomiarach impedancji Z_x spadek napięcia U_x na tej impedancji musi być w tym układzie równy napięciu zasilania gałęzi impedancji Z_x . Warunek ten jest trudny do spełnienia, zwłaszcza w przypadku małych impedancji Z_x ; wtedy impedancje doprowadzeń są tego samego

rzędu co impedancja mierzona. Jednocześnie prąd I_X pobierany z uzwojenia transformatora TN powoduje zmniejszenie napięcia zasilania. Dlatego zastosowano układ eliminujący wpływ obciążenia oraz impedancji doprowadzeń - na rdzeniu nawinięto dodatkowe uzwojenie (nieobciążone), którego napięcie U_X jest porównywane ze spadkiem napięcia na mierzonej impedancji. Różnica napięć:

$$U_{we} = E_X - I_X Z_X \quad (11)$$

zostaje wzmocniona we wzmacniaczu K i dodana do napięcia zasilającego gałąź impedancji Z_X . Stąd

$$I_X = \frac{KU_{we} + E_X}{Z_U + Z_d + Z_{p1} + Z_{p2} + Z_X} \quad (12)$$

gdzie:

- Z_U - impedancja wyjściowa transformatora zasilającego
- Z_d - impedancja wejściowa dzielnika prądowego DP 1
- Z_{p1}, Z_{p2} - impedancje doprowadzeń.

Z przekształcenia zależności (11) oraz (12) otrzymano:

$$I_X = \frac{E_X}{Z_X} \left[1 - \frac{Z_U + Z_d + Z_{p1} + Z_{p2}}{(K+1)Z_X} \right] \quad (13)$$

W stanie ustalonym, dla $K \rightarrow \infty$;

$$I_X = \frac{E_X}{Z_X} \quad (14)$$

W węźle W prąd ten jest kompensowany dwoma prądami: I_2 oraz I_3 wpływającymi z torów przetwarzania C_N oraz R_N . Elementem służącym do zmiany zakresu prądowego w torze prądu I_X jest indukcyjny dzielnik prądowy DP 1; jest to IDN zasilany inwersyjnie. Prąd wejściowy doprowadzony jest do strony napięcia U_2 - na schemacie IDN przedstawionym na rys. 2. Prąd wyjściowy jest prądem wpływającym z zacisków, do których w IDN doprowadza się napięcie zasilające U_1 , [12], [13], oraz mnożniki prądu MP2 i MP3. Transformatory pomocnicze T1 oraz T2 są transformatoremi dwurdzeniowymi, w których zminimalizowano środkami elektronicznymi źródła błędów. Umożliwiają one:

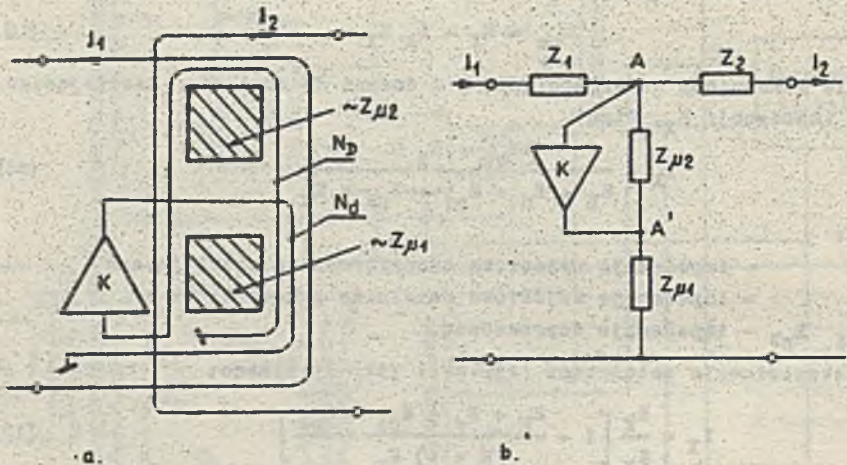
- w torze rezystancji wzorowej zmianę zakresu dobroci Q przy czym:

$$R_X = \frac{U_X}{U_R} R_N D_1 D_3 \quad (15)$$

- w torze pojemności transformację prądu I_C na I_2 w stosunku $\frac{100}{4\pi^2} = \frac{575}{221}$, dzięki czemu zależność opisująca mierzoną indukcyjność, dla $f = 1$ kHz ma postać:

$$L_X = \frac{U_X D_1 D_2}{U_C C_N} 10^{-8} \quad (16)$$

W transformatorach tych mały błąd przekładni osiągnięto zmniejszając prąd magnesujący. Ideę rozwiązania przedstawiono na rys. 6, przy czym na rys. 6a przedstawiono położenie magnetowodów oraz uzwojeń, 6b - schemat idealny transformatora, [3].



Rys. 7. Połączenie magnetowodów i uzwojeń (a) oraz schemat idealny (b) transformatora o zmniejszonym prądzie magnesującym

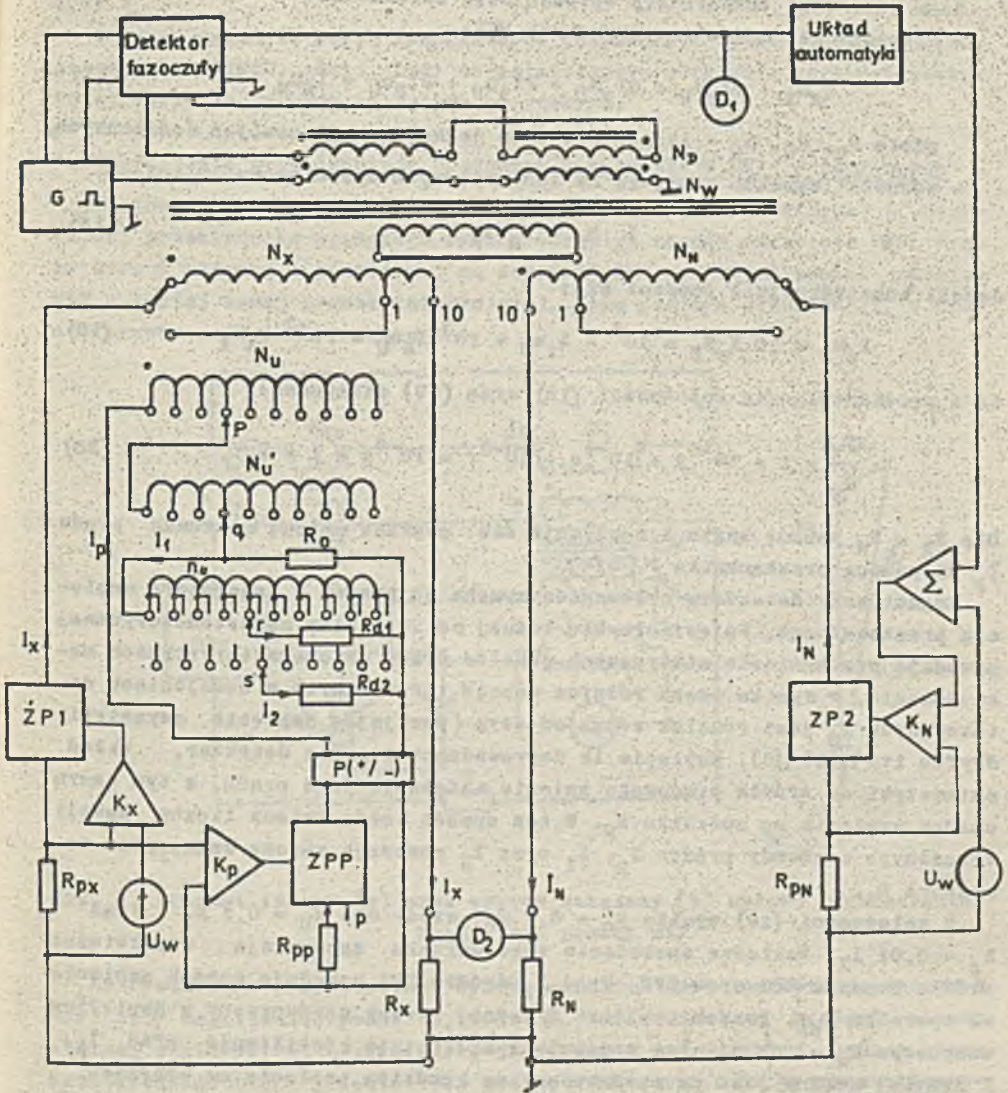
Prąd magnesujący będzie równy zero, jeżeli potencjały punktów A oraz A' będą takie same. Napięcie w punkcie A jest równe napięciu indukującemu się w uzwojeniu detekcyjnym N_D nawiniętym na oba magnetowody. Doprowadzenie napięcia do punktu A' odpowiada doprowadzeniu napięcia do uzwojenia N_d nawiniętego na rdzeń o impedancji $Z_{\mu 1}$. Rozwiązanie takie zwiększa efekt impedancji poprzecznej np. z 1 k Ω do 10 M Ω . Transformatory mogą być wyposażone w dodatkowe układy eliminujące wpływ obciążenia, pojemności międzyzwojowych oraz doziemnych [3], [5].

Odrębnym problemem jest pomiar prądu I_X płynącego przez mierzoną impedancję w stanie równowagi komparatora. Do tego celu opracowano przetwornik z przekładnikiem prądowym, w którym uzwojenie pierwotne stanowi jeden zwój przewodu z prądem I_X . Cechą charakterystyczną tego rozwiązania jest znikomo małe obciążenie wnoszone przez przetwornik - jego impedancja wejściowa jest rzędu m Ω , [4].

5. Komparator rezystancji

Najprostszymi metodami pomiaru rezystancji są metody stałoprądowe - wśród nich obecnie najlepszą jest metoda równonapięciowa, w której prądy płynące przez komparowane rezystancje porównywane są w magnetycznym komparatorze prądów stałych, [1], [2], [5], [6], [7], [8]. Z technologicznego punktu widzenia nawinięcie uzwojenia o rozdzielczości $10^{-6} \dots 10^{-7}$, od-

powiadającej błędowi MKP jest niemożliwe. Wystarczającą rozdzielczość siły magnetomotorycznej zapewnia układ, w którym przez dodatkowe uzwojenie wymusza się prąd równy ściśle określonej części prądu I_x , w sposób przedstawiony na rys. 7.



Rys. 7. Schemat ideowy komparatora rezystencji magnetycznym komparatorem prądów stałych

Na rysunku przedstawiono schemat ideowy komparatora rezystencji z MKP stałych służący do komparacji rezystencji wzorców o wartościach nominalnych od $10^{-3} \Omega$ do $10^4 \Omega$ z niedokładnością rzędu $\pm 10^{-6}$. Prądy I_x oraz I_N

plynące przez komparowane rezystancje są nastawiane w granicach od 10 mA do 1 A; zapewnia to zgodną z normami dyssypację mocy na opornikach wzorcowych równą 50 mW lub 100 mW (w zależności od wartości rezystancji).

Stan równowagi komparatora opisują dwie zależności:

- równości sił magnetomotorycznych MKP:

$$I_X N_X + p I_p N_U + q I_p N_U' + r I_1 n_U + s I_2 n_U = I_N N_N \quad (17)$$

gdzie N_U , N_U' , n_U - liczby zwojów w jednej sekcji uzwojeń dodatkowych,

- równości spadków napięcia na komparowanych opornikach:

$$I_X R_X = I_N R_N \quad (18)$$

Jeżeli konstrukcyjnie zapewni się:

$$I_p N_U = 10 I_p N_U' = 10^2 \cdot I_1 n_U = 10^3 I_2 n_U = 10^{-3} I_X N_X \quad (19)$$

to z przekształcenia zależności (18) oraz (19) otrzymano:

$$\frac{R_X}{R_N} = 1 + 10^{-3} p + 10^{-4} q + 10^{-5} r + 10^{-6} s = 1 + k \dots \quad (20)$$

Dla $R_X < R_N$ zmianę znaku k realizuje się poprzez zmianę kierunku prądu I_p za pomocą przełącznika P (+/-).

Magnetowody detektora przemagnesowywane są prądem z generatora napięcia prostokątnego. Pojawienie się różnej od zera siły magnetomotorycznej powoduje przesunięcie statycznych punktów pracy na charakterystykach magnesowania, w wyniku czego różnica napięć indukowanych w uzwojeniach detekcyjnych N_D jest również różna od zera (pomijając napięcie asymetrii, dryftu itp.), [2], [6]. Napięcie to doprowadzone poprzez detektor, układ automatyki do źródła prądowego zmienia natężenie jego prądu, a tym samym spadek napięcia na oporniku R_N . W ten sposób każda zmiana liczby sekcji włączonych w obwody prądów I_p , I_1 oraz I_2 powoduje zmianę wskazania detektora D_2 .

Z zależności (19) wynika $N_U' = 0,1 N_U$; wtedy dla $N_U = 0,1 N_X$ prąd $I_p = 0,01 I_X$. Dokładna spełnienie tego warunku zapewniają współbieżne źródła prądowe ZP1 oraz ZPP. Prąd I_X źródła ZP1 powoduje spadek napięcia na oporniku R_{pX} . Spadek ten jest z jednej strony porównywany z napięciem wzorcowym U_w - ich różnica wzmocniona K_X -krotnie stabilizuje prąd I_X . Z drugiej strony jest on porównywany ze spadkiem napięcia na oporniku R_{pp} spowodowanym przez prąd I_p - ich różnica wzmocniona K_p -krotnie ustala wartość prądu I_p . Odpowiedni stosunek natężeń prądów I_1/I_p jest wymuszony stosunkiem rezystancji R_{pX}/R_{pp} .

Z zależności (19) oraz (20) wynika, że o błędzie komparacji rezystancji decyduje błąd komparacji natężeń prądów. Z kolei o tym błędzie decyduje technologia uzwojeń N_X oraz N_N . Technologia ta przedstawiona m.in. w pracach [2], [6] musi zapewnić identyczne sprzężenie magnetyczne obu uzwojeń z detektorem MKP. Błędy ustalenie natężenia prądu I_p mogą być

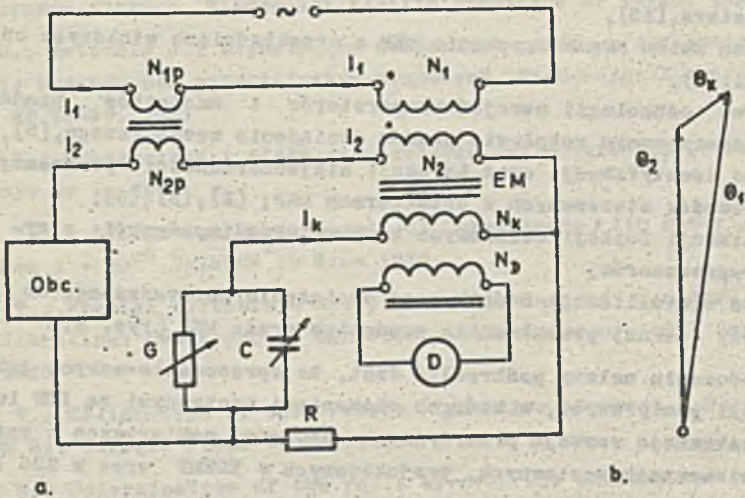
większe - prąd ten określa 4, 5, i dalsze miejsca znaczące w wyniku komparacji.

Komparator umożliwia komparację rezystancji o stosunku wartości nominalnych równym 10 lub 0,1. Realizuje się ją poprzez przełączenie zacisków uzwojenia np. N_X lub N_N na pozycji 10 na 1 i zmianę rezystancji R_{pX} oraz R_{pp} .

W IMEIE wykonano serię komparatorów rezystancji; jeden z nich znajduje się w ZZG INCO, gdzie służy do ostatecznego ustalania wartości rezystancji wyprodukowanych oporników wzorcowych.

6. Wzorcowanie przekładników prądowych w układzie z MKP przemiennych

Zastosowanie MKP do komparacji natężeń prądów strony wtórnej i pierwotnej przekładnika prądowego wynika wprost z zasady działania MKP. Prądy strony wtórnej i pierwotnej są doprowadzone do odpowiednich uzwojeń MKP o takiej samej przekładni zwojowej, jaką posiada przekładnik, w sposób przedstawiony na rysunku 8a.



Rys. 8. Schemat ideowy (a) oraz wykres wskazowy (b) układu wyznaczania błędów przy pomocy MKP

Na rysunku 8b przedstawiono wykres wskazowy sił magnetomotorycznych MKP; siły magnetomotoryczne θ_1 oraz θ_2 wymuszone są prądami strony wtórnej i pierwotnej przekładnika prądowego - ich różnica będąca miarą bezwzględnego błędów przekładnika jest kompensowana siłą magnetomotoryczną θ_k w uzwojeniu N_k . Stąd dla $N_k = N_2$:

$$\delta = \frac{\theta_k}{\theta_1} = RG + j\omega RC \quad (21)$$

W praktyce dla typowych wartości błędów przekładników prądowych po-

jemności C są rzędu $\mu F - mF$ i dlatego prąd I_K wymuszony jest w układach aktywnych - przetworników spadku napięcia U_R na składowe prądu I_K . Układ taki, wykonany w IMEiE wraz z kompletem MKP o przekładniach od 5/5 do 1000/5 opisano w pracy [9].

7. Kierunki dalszych prac badawczych w dziedzinie precyzyjnych narzędzi pomiarowych

Wykonanie zaprezentowanych narzędzi pomiarowych było możliwe dzięki prowadzonym w IMEiE pracom badawczym, mającym charakter badań podstawowych. Prace takie są nadal kontynuowane i dotyczą m.in.:

- ogólnego modelu precyzyjnego komparatora admitancji, umożliwiającego liczebne wyznaczenie błędów na podstawie pomiarów wielkości resztkowych, [5],
- procedury samowzorcowania komparatorów przy pomocy wzorców o większej niedokładności, niż otrzymana w jej wyniku niedokładność komparatora, [13].
- nowych metod samowzorcowania MKP o przekładniach większych od jedności, [6].
- nowych technologii uzwojeń komparatorów i mnożników prądowych o zdeterminowanym rozplywie prądów obciążenia wewnętrznego, [5],
- metod identyfikacji oraz korekcji niejednorodności permeability magnetowodów stosowanych w detektorach MKP; [2], [5], [6],
- realizacji funkcji układowych komparatorów impedancji przy pomocy mikroprocesorów,
- metod minimalizacji dodatkowego obciążenia wprowadzonego do obwodu strony wtórnej przekładnika prądowego przez MKP (rys. 8.).

W zakończeniu należy podkreślić fakt, że opracowanie nowych jakościowo narzędzi pomiarowych, w których elementami nastawnymi są IDN lub MKP jest konsekwencją rozwoju precyzyjnych narzędzi pomiarowych o rezystancyjnych elementach nastawnych, produkowanych w ZDEMP oraz w ZZG INCO w Pyskowicach.

8. LITERATURA^{xx}

- 1 Hagel R., Gotszalk R., Miłek M., Skubis T., Puśledzki J.: Indukcyjne dzielniki napięcia i komparatory prądowe w układach pomiarowych. Monografia. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Elektryka Nr 55 Gliwice 1976
2. Hagel R., Kwicisła J., Miłek M., Puśledzki J., Skubis T.: Miernictwo

Spis literatury zawiera wybrane prace dotyczące przedstawionej tematyki, których autorami są pracownicy IMEiE. Bogata literatura dotycząca omawianych zagadnień znajduje się w wykazie literatury prac m.in. [5], [6], [10].

- precyzyjne. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka Nr 71, Gliwice 1981
- 3 Met A., Latka A.: Układ aktywny redukujący prąd magnesujący w transformatorach pomiarowych. Pomiar Automatyka Kontrola Nr 12. 1981
 - 4 Met A., Latka A.: Miernik prądu o znikomym oddziaływaniu na badany obiekt. Pomiar Automatyka Kontrola Nr 6. 1981
 - 5 Miłek M., Skubis T., Kwiczala J., Puśledzki J., Met A., Pająk K. : Komparatory impedancji wzorcowych i ich podzespoły. Monografia. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka Nr 92 Gliwice 1984
 - 6 Miłek M.: Magnetyczne komparatory prądowe - konstrukcja, technologia, zastosowanie. Monografia. Zeszyt Naukowy Pol.Śl. Elektryka Nr 90. Gliwice 1984
 - 7 Miłek M.: Komparacja wielkości elektrycznych i magnetycznych. Monografia. Zeszyt Naukowy Pol.Śl. Elektryka Nr 70. Gliwice 1981
 - 8 Miłek M., Kwiczala J.: Komparator rezystancji z magnetycznym komparatorem prądów stałych. Wiadomości Elektrotechniczne Nr 19-20. 1981
 - 9 Miłek M., Kwiczala J.: Magnetyczny komparator prądów przemiennych w układzie wzorcowania przekładników prądowych. Wiadomości Elektrotechniczne Nr 19-20, 1981
 - 10 Skubis T.: Konstrukcja i błędy indukcyjnych dzielników napięcia. Normalizacja Nr 4. 1979
 - 11 Skubis T.: A Bridge for Measurements of Capacitance with Uncertainty Less than $1 \cdot 10^{-5}$ EMISCON '79 Brno 1979
 - 12 Skubis T.: Precise Variable - Ratio Inductive Current Divider and Its Calibration; Conference - Radiolocation and Radiorelay Lines. Werna 1980
 - 13 Skubis T.: Calibration of the Precise Inductive Current Divider. EMISCON '81. Strbske Pleso CSRR. 1981
 - 14 Skubis T.: Determination of the ratio error by the successive permutation of immittance standards. EMISCON '83. CSRR 1983.

Józef KOSZEWSKI

ROZWOJ MIERNICTWA PRZEMYSŁOWEGO

Miernictwo przemysłowe /MP/, podobnie jak cała współczesna technika i technologia, wkroczyło w kolejną generację swoich przeobrażeń. Wydaje się, że warto właśnie dzisiaj zastanowić się na czym te przeobrażenia polegają w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Przekazuję więc poniżej w krótkim skrócie kilka spostrzeżeń na ten temat.

1. O samookreśleniu się MP

MP tworzy, zarówno ze swojej merytorycznej istoty jak i tradycji rozwoju wyodrębniony dział wiedzy o pomiarach. Można przytoczyć tu związką definicję, kto a stwierdza, że : wydobywanie i odpowiednie do systemowych potrzeb przetwarzanie informacji o stanach zmiennych procesowych jest obszarem teorii i praktycznych działań MP. Termin "zmiennie procesowe" reprezentuje tu oczywiście aspekty funkcyjne systemów technicznych przetwarzania postaci i formy wszelkich materiałów a więc przetwarzanie przemysłowe /Industry processing/.

Uzasadnienie odrębności MP na gruncie podstawowych pojęć metrologicznych nie daje zadowalających rezultatów. Coraz trudniej doszukać się takiego uzasadnienia przy rozważaniu 3 głównych pytań właściwych dla metrologii :

- jaki obiekt i związane z nim wielkości są przedmiotem pomiaru ?
- jakimi sposobami /metodami/ zmierzyć dane wielkości ?
- jakie narzędzia pomiarowe będą najważniejsze ?

Natomiast znacznie racjonalniej można to uczynić przez zbada-
nie treści i form udziału metod i technik pomiarowych w całości problematy-
ki sterowania przemysłowymi procesami przetwórczymi.

Istnieje wiele ważnych politycznych i gospodarczych powodów, dla któ-
rych takie gałęzie przemysłu jak górnictwo, hutnictwo, energetyka, che-
mia i wyższe przetwórstwo materiałowe szybko przechodzą do formacji XII

wieku - wielkich automatów.

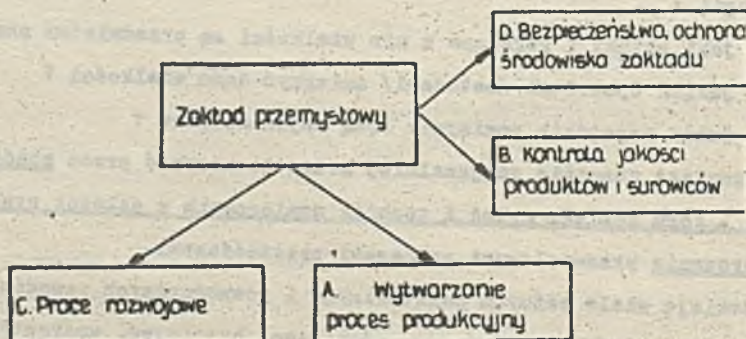
Jest oczywiste, że dopasowanie MP do struktury i funkcji wielkich systemów musi objawiać się głównie w zdolności MP do wydobywania i przetwarzania wielkich strumieni informacji, na co składają się : liczba mierzonych wielkości, ich dynamika i zakres zmienności, towarzyszące informacje operacyjne i nadwyżki redundancyjne na niezawodność systemu. Do charakterystycznych cech rozwoju bądź przemian i strategii zachodzących w przemyśle można zaliczyć :

- a/ automatyzowanie coraz to większych instalacji, podsystemów, zakładów i kombinatów,
- b/ wzrost złożoności i "precyzji" reżimów technologicznych,
- c/ rozszerza się zakres parametrów procesowych aż do wartości technologicznie ekstremalnych /np. setki MPA, tysiące K/,
- d/ masowy przerób surowców,
- e/ wysokie wymagania jakości produktów końcowych,
- f/ eliminacja ryzyka przestoju awaryjnych,
- h/ zaostrzające się wymagania co do ochrony zdrowia i bezpieczeństwa załóg oraz ochrony bliższego i dalszego środowiska naturalnego.

Wydaje się, że można przyjąć jako nadal aktualne następujące kryteria wyodrębnienia MP.

I. Kryterium obszarowe

Zgodnie z poniższą strukturą wyróżnia się 4 obszary użytkowania MP.



Rys.1. Dziedziny działalności zakładu przemysłowego

Centralną dziedziną MP jest obszar A, w którym bezpośrednio obsługuje się proces produkcyjny i gdzie następuje zbieranie i przetwarzanie zmien-nych procesowych obejmujące :

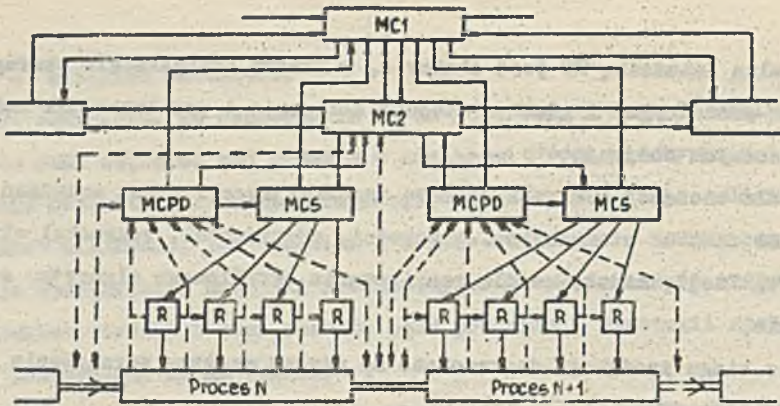
- a/ dane dla bieżącej kontroli procesu produkcyjnego i stanu urządzeń,
- b/ wybrane dane o stanach (np. gotowości, awaryjności, rozruchu) obiektów regulacji, niezbędne dla realizowania określonego algorytmu sterowania,
- c/ dane o biegu produkcji dostarczone na użytek warstwy zarządzania przedsiębiorstwem.

Pomiary w obszarze B mogą być realizowane w A, lecz często mają charakter kontroli laboratoryjnej dokonywanej wyspecjalizowanymi metodami i sprzętem testującym (np. zestawami pomiarowymi z "inteligencją") i przy przyjęciu najczęściej wysokich wymagań metrologicznych.

W obszarze C odbywa się opracowywanie nowych produktów i ich technologii, nieraz do skali półtechnicznej. Metody i sprzęt MP występują tutaj łącznie z wyspecjalizowaną instrumentacją badawczą.

Wreszcie obszar D - to specjalistyczna kontrola (o wielkim znaczeniu dla wielkich systemów i aglomeracji) bezpieczeństwa zakładu i otoczenia, w szczególności pod względem zagrożenia wybuchowego i toksycznego. Zaliczyć tu oczywiście należy nadzór nad poprawnością parametrów środowiska (skład atmosfery, temperatura, wilgotność, poziom promieniowań, oświetlenie). Obszar ten częściowo należy do MP a po części do zakresu działań wyspecjalizowanych służb. Z pojawieniem się nowych i bardzo ryzykownych toksycznie technologii (energetyka jądrowa, chemia środków ochrony roślin, kilka tysięcy rocznie nowych syntez o wielkim zakresie toksyczności) rola obszaru D niepomiarnie rośnie.

II. Kryterium skuteczności jest podstawowe dla wyodrębnienia MP. Wyraża się one wypełnieniem warunku przystosowania metod i środków MP do najlepszego dostarczania informacji o stanie procesu (prezentowanie wektora stanu) celem umożliwienia optymalizacji biegu procesu pod względem technologicznym, jakościowym i ekonomicznym. Jeśli przykładowo posłużyć się schematem hierarchicznej struktury sterowania procesu przemysłowego, przedstawionym na rys.2, wtedy rolę MP symbolizują linie przerywane.



Rys.2. Miejsce pomiarów w hierarchicznej strukturze sterowania procesem przemysłowym

Może być pewnym zaskoczeniem, że pod względem stopnia rozwoju i problemów eksploatacji, MP stanowi tu problematyczne i najskłabsze ogniwo. Do sprawy tej jeszcze powrócę.

Najważniejszymi wyrazami kryterium II są :

1. środki pomiarowe pobierają informacje w sposób ciągły lub pseudo ciągły, bowiem proces sterowania przebiega podobnie,
2. liczne punkty pomiarowe różnych wielkości bądź zespołów wielkości tworzą wzajemnie uzależniony system skojarzony dostosowany do rodzaju kontrolowanego procesu (komplementarność),
3. parametry środków pomiarowych muszą indywidualnie odpowiadać pod względem zakresu, dokładności i dynamiki obsługiwanemu procesowi,
4. punkty pomiarowe naogół pracują bez obsługi, zatem muszą być skojarzone z układami nadzoru ich sprawności parametrycznej i sprawności linii transmisyjnych.

III. Kryterium zdolności współdziałania ze środkami informatyki

Współistnienie MP ze środkami informatyki i sprzętem komputerowym jest zasadą, lecz powstaje problem (z zakresu syntezy systemów) dogodnego kojarzenia często uszpełnianych środków informatyki z daleko bardziej trwałymi (i kosztowniejszymi obecnie) środkami MP. Jest więc konieczne zadeśliczynienie postulatowi standaryzacji układowej i konstrukcyjnej przy równoczesnym nie poddawaniu się środków MP temu postulatowi, głównie ze względu na bogactwo rozwiązań.

IV. Kryteria sytuacji eksploatacyjnej. Jest to wymaganie odporności na warunki pracy w przemyśle, a więc zarówno spełnienie oczekiwanej niezawodności działania przy danych warunkach temperaturowych, ciśnienia, wilgotności, agresywności chemicznej, promieniowań, drgań i mechanicznych przyspieszeń jak i zapewnienie odpowiedniej iakrobespieczności i przeciw-wybuchowości w strefach tego rodzaju zagrożenia. Ogólnie mamy tu do czynienia z drastycznym oddziaływaniem funkcji strat w następstwie destruktywnego oddziaływania warunków eksploatacji na sprawność środków MP.

2. Przeobrażenie celu i środków MP

Czyniąc spostrzeżenia na temat przeobrażeń MP trzeba mieć na uwadze zarówno rozwój metod pomiarowych w związku z nowymi zadaniami jakie stawiają nowe jakościowo i ilościowo zastosowania MP a także dostrzegać sprzężony z tym postęp konstrukcyjno-technologiczny środków MP, bez których nowe zastosowania mogły by być rozpatrywane tylko teoretycznie.

Według mojej opinii do szczególnie znamiannych przeobrażeń zadań i zastosowań MP należy zaliczyć :

- wyraźne zmiany znaczenia i częstości pomiarów różnych grup wielkości, głównie z mechanicznych i elektrycznych na rzecz fizyko-chemicznych i cieplnych. Przybliżone proporcje obserwowane w przemyśлах surowcowo-przetwórczych szacuję następująco :
- a/ wielkości fizykochemiczne, w tym pomiary składu chemicznego ok. 40 % ,
- b/ wielkości cieplne - ok. 25 % ,
- c/ wielkości mechaniczne ok. 20 % (bez pomiarów kształtu, kąta, długości)
- d/ wielkości elektryczne - energetyczne - ok. 15 % ,
- coraz powszechniejsze wykorzystanie rozbudowanych kompleksów środków MP (czyli zestawów dla obsługi danego obiektu) do realizacji złożonych i wąskotolerancyjnych algorytmów sterowania (przykłady takich sytuacji wskazane będą dalej),
- kompleksy środków MP obsługują rozbudowane i najczęściej hierarchiczne systemy sterowania działające na znacznych obszarach np. : dystrybucja wody, gasu gospodarczego, energii elektrycznej lub paliw płynnych. Wiąże się to z rozbudową systemów telemetrycznych i ze stosowaniem środków MP a szczególnie ich właściwościach eksploatacyjnych,

- wzrost znaczenia i liczby zadań MP w pomiarach wielkości, których zakresy bliższe progom wykrywalności metody mają istotne znaczenie. Znajduje to swoje liczne przykłady w pomiarach składu chemicznego, w pomiarach wielkości cieplnych bądź mechanicznych (kontrola czystości surowców na poziomie ppb staje się coraz powszechniejsza),
- wprowadzenie do praktyki w MP różnych nowych zasad pomiarowych, np. tych, które były do tej pory wyłącznie wykorzystywane w eksperymencie naukowym (spektrometria ESR, chromatografia cieczowa HPLC, spektrometria rezonansowa lub spektrometria mas itp.),
- do coraz częstszych zadań należą pomiary parametrów tzw. złożoności zorganizowanych, tzn. systemów wieloelementowych o zdeterminowanym zbiorze relacji między tymi elementami, zaś relacje te są przedmiotem pomiarów (np. badania układów mikroelektronicznych lub mechanizmy ze znaczną liczbą części składowych),
- wzrost wykorzystania środków MP w obszarze D to jest do nadzoru bezpieczeństwa i stanu skatienia chemicznego środowiska pracy, instalacji przemysłowych i ich otoczenia,
- coraz powszechniejsze jest podwyższanie wymagań co do szybkości (dynamiki) pomiarów różnych parametrów, nawet tradycyjnie uznawanych jako wolnozmiennie. Głównym uzasadnieniem jest wzrost dynamiki kontrolowanych procesów i żądanie szybkiej reakcji na losowe przekroczenia zadanych przedziałów.

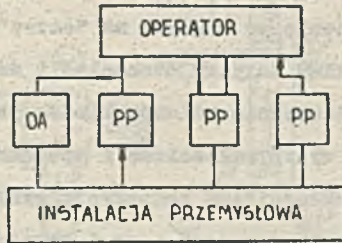
Uwagi o przeobrażeniach środków MP podano w pkt 5.

3. Wieloparametrowy system sterowania jako obiekt pomiarowy

Sam fakt, że współczesne środki MP obsługują złożone instalacje przemysłowe wyposażone w liczne punkty pomiarowe, nie może być uważany za osobliwy. Jeśli tylko przyjrzeć się poszczególnym etapom rozwoju zastosowań MP do kontroli procesów przemysłowych, wtedy łatwo dostrzeć prostą i ogólną zależność pomiędzy wzrostem zakresu automatyzowania instalacji a liczbą punktów pomiarowych, wznosząc bowiem zakres (kompletność) posiłkiwanej informacji o stanie procesu, ze stopniową eliminacją udziału operatora. Zwięźle i obrazowo ujęcie tej prawidłowości dał prof. E. Romer na schemacie, który przytaczam na rys.3.

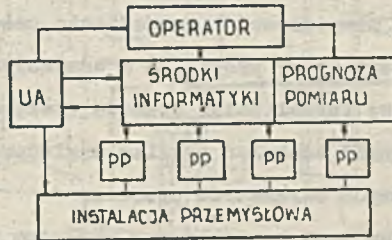
ETAP I
proste pomiary bezp.
pojed.obwody automatyki

od ok. 1920 r.



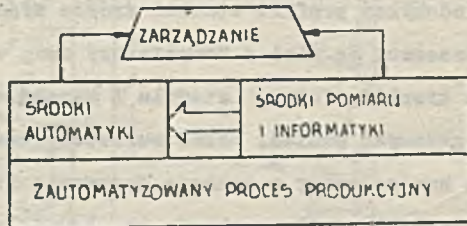
ETAP II
wspomagane informa-
tycznie układy auto-
matyki

od ok. 1950 r.



ETAP III
zautomatyzowane
systemy

od ok. 1970 r.



Rys.3. Graficzna interpretacja zmian ról MP w kolejnych etapach rozwoju automatyzacji procesów produkcyjnych

PP - punkty pomiaru, OA - obwody automatyki,
UA - układy automatyki

Chciałbym się jednak tutaj posłużyć przykładem, który dobrze ilustruje sposób i zakres udziału środków MP w złożonym algorytmie sterowania. Jest znamienna, że coraz częściej automatyzuje się obecnie kompleksowe procesy technologiczne, których tradycyjna realizacja nie byłaby w ogóle możliwa (głównie ze względu na "ostre" reżimy technologiczne).

Miniejszy przykład dotyczy technologii szklarskiej - wielkoseryjnego, kwasi-ciężkiego tłoczenia balonów kineskopu telewizji kolorowej. Właściwości odlewnicze, wytrzymałościowe i optyczne masy szklarskiej są wyznaczone przez wielowkładnikową kompozycję szkłotwórczych surowców wejściowych, warunki hutnicze wytopu masy i temperatury poszczególnych faz dalszych operacji. Schemat procesu uwidacznia rys.4 podając także rodzaje i miejsca podstawowych pomiarów.

Wskaznikiem prawidłowości prowadzenia procesu jest w odniesieniu do ekranu jego trójwymiarowy profil, a w odniesieniu do stożka - jego profil obrotowy. Podstawę formalizacji procesu sterowania stanowi doświadczalnie wyznaczona zależność odchylenia profilu względem wzorca od cieplnych, chemicznych i czasowych parametrów procesu.

Profil ekranu jest kontrolowany względem wzorca w każdym egzemplarzu z rozdzielczością ok. 1 mikrometra. Komputerowa analiza wartości i rozkładu odchylenia profilu stanowi źródło sygnałów korygujących wybrane parametry procesu. Są nimi : temperatury etapów w wytopu masy szklarskiej, temperatura "kropli", formy, stempla i kanału odprężania oraz parametry nagrzewnic gazowych wanień. Skład surowcowy masy szklarskiej jest wcześniej ściśle kontrolowany w trakcie dozowania składników. Podlegają także kontroli składniki spalin z obwodu nagrzewnic. Cały system regulacji jest wyposażony w liczne zabezpieczenia przed nadmiernymi odchyleniami procesu od normy a zwłaszcza na przypadek sytuacji awaryjnych. Pozanormalny ekran i stożki wracają do ponownego wytopu. System wanień musi pracować nieprzerwanie aż do kapitalnego remontu instalacji. Jednostka centralna udostępnia operatorowi wszystkie główne parametry procesu oraz ich trendy długoczasowe (godzinowe, przy tłoczeniu 4 balonów na minutę). Precyzja technologii jest widoczna np. na dopuszczalnych odchyleniach temperatur tłoczenia: ok. 2°C/580°C oraz wylotu "kropli" w stosunku do temperatury ok. 980°C.

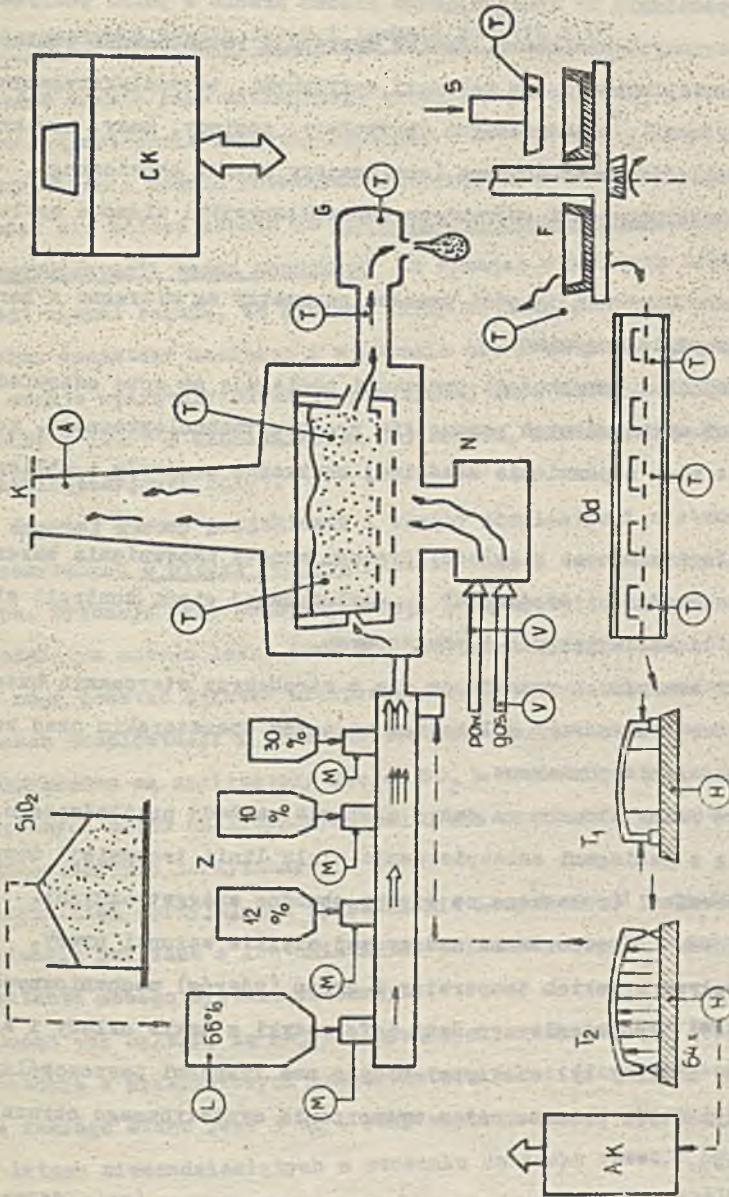


Fig. 4. Schemat procesu lutniczego i wyznaczania kineskopów IV.
Z - zasobniki składników, A - wlewa, H - naryzewnice, K - ciąg kominowy, G - głowica
P - forma, S - sterofil, Od - kształt odpr., T₁ - centrowario bazy, T₂ - bad. profilu ekranu,
AK - gazow.

A etc, za tle powyższego przykładu, wnioski i uogólnienia.

- a/ Kompleks wyposażenia MP obsługującego proces prawie w pełni pokrywa spektrum mierzonych wielkości, bowiem występują równocześnie pomiary wielkości : cieplnych (w tym metodami optycznymi, termoelektrycznymi i rezystancyjnymi), mechanicznych (przepływy, poziomy, masy, wymiary geometryczne), fizykochemicznych (analizatory składu chemicznego, lepkość), elektrycznych i optycznych (charakterystyki widmowe szkła, nefelometria).
- b/ Podstawowe dla kontroli jakości procesu parametry są mierzone z bardzo dużymi rozdzielalnościami,
- c/ Znaczne wydajności (szybkości) produkcji pociągają za sobą odpowiednie szybkości zmian ważnych parametrów procesu technologicznego, konieczna jest więc zapewnienie właściwej szybkości pomiarów i obliczeń on-line.
- d/ Trwałość (długoterminowa ciągłość) procesu wymaga zapewnienia bardzo wysokiej niezawodności środków MP i rozbudowanej sieci kontroli stanu urządzeń technologicznych i pomiarowych.
- e/ Dla sytuacji awaryjnych przewiduje się w strukturze sterowania autonomiczną pracę podsystemów z lokalnym nadzorem operatorskim oraz rezerwowe wyposażenie pomiarowe.
- f/ Środki MP są zainstalowane na dużym obszarze zakładu przetwórczego, co wiąże się z zabiegami zabezpieczenia wielu linii transmisji danych przed zakłóceniami (zwłaszcza ze strony obwodów energetycznych).
- g/ Środki MP muszą być odporne na nadzwyczaj ciężkie warunki pracy, zwłaszcza wpływu wysokich temperatur i drgań (udarów) mechanicznych.
- h/ Konieczne jest wyposażenie urządzeń informatyki w takie układy i algorytmy, aby możliwy był efektywny nadzór nad trendami poszczególnych, głównych parametrów procesu celem wytworzenia syntetycznego obrazu biegu procesu.

Przedstawione wyżej wnioski mają oczywiście szerszą wymowę (mogą dotyczyć np. walcowni blach, rafinerii lub cementowni) i są obrazem wymagań współczesnym MP.⁶ Dowodem na to, że wymagania te są spełniane, jest sprawne działanie w krajach wysoko-rozwiniętych licznych instalacji, przetwórci i wydziałów kombinatów przetwórstwa surowców i masowej produkcji

wyrobów o ekstremalnie wysokiej powtarzalności ich parametrów.

4. Wykorzystanie nowych zasad i technik pomiaru w MP

Bardzo wąskie ramy niniejszego przeglądu umożliwiają nadzwyczaj wyrywkowe potraktowanie tego zagadnienia.

Poszukiwanie nowych rozwiązań metodycznych i konstrukcyjnych dla MP sprowadza się bardzo często do dostosowywania poznanych już metod i technik instrumentacji badań naukowych do wymagań stawianych środkiem MP.

Jest niemal regułą, że czołowe firmy produkujące aparaturę penetrują dziedzinę aparatury naukowej i w okresie ok. 3 do 5 lat proponują przemysłowe wersje aparatury badawczo-pomiarowej (np. BACKMAN PROCESS, FOXBORO, ROSEMOUNT i inni) z udowodnieniem jej nowych, unikalnych parametrycznych lub eksploatacyjnych zalet.

Z drugiej strony projektanci i służby eksploatacji systemów automatyki przemysłowej z wielką rezerwą odnoszą się do tego konstruktorskiego postępu. Sytuacja jest podobna do tej, jaką spotyka się przy wprowadzaniu do lecznictwa nowego leku, istnieją bowiem obawy przed poważnymi stratami jakie mogą powstać wskutek niesprawdzonego poziomu niezawodności w danych warunkach eksploatacji i braku doświadczeń serwisowych. Charakterystycznym przykładem są analizatory stężeń SO_2 w powietrzu, gdy z kilkunastu opracowanych metod analitycznych żadna nie jest dostatecznie uniwersalna i eksploatacyjnie korzystna.

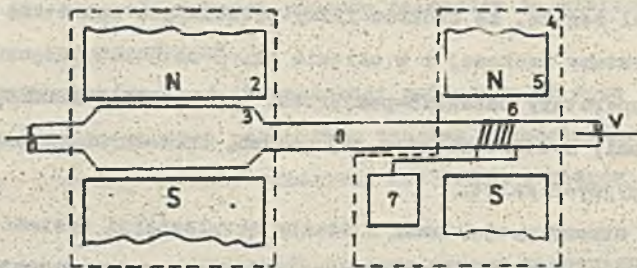
Czynnikiem sprzyjającym wprowadzeniu nowych metod i technik MP są oczekiwania związane z ich unikalnymi zaletami, często niezbędnymi dla projektanta nowego systemu automatyki.

Dodać też należy, że najintensywniejszy ruch innowacyjny obserwuje się obecnie w przemysłowych pomiarach wielkości fizykochemicznych. Przyczyną takiego stanu jest 3 do 4 razy szybszy rozwój przemyśle chemicznego w latach siedemdziesiątych w stosunku do tempa rozwoju przemysłu ogólnym, zaś automatyzowanie instalacji przetwórczych w przemyśle chemicznym i przemysłach pochodnych wynika także z ostrych warunków ochrony środowiska.

Kilka przykładów ilustruje fragmenty trendów rozwojowych.

a/ W dziedzinie pomiarów przepływu wykorzystuje się zasady przydatne dla

niekiedy innych ośrodków (np. emulsje, aerosole, mieszaniny typu ścieków). Obecnie doskonałości przepływomierzy typu wibracyjnego z efektem samoczyszczenia i innych dla mediów o przewodności elektrycznej powyżej $5 \mu\text{C cm}^{-1}$ rozwija się metoda magnetycznego rezonansu protonowego. Zmieniając populację wzbudzonych protonów w przekroju rurociągu bada się przebieg relaksacji efektu PMR metodą impulsową w układzie według rys.5.



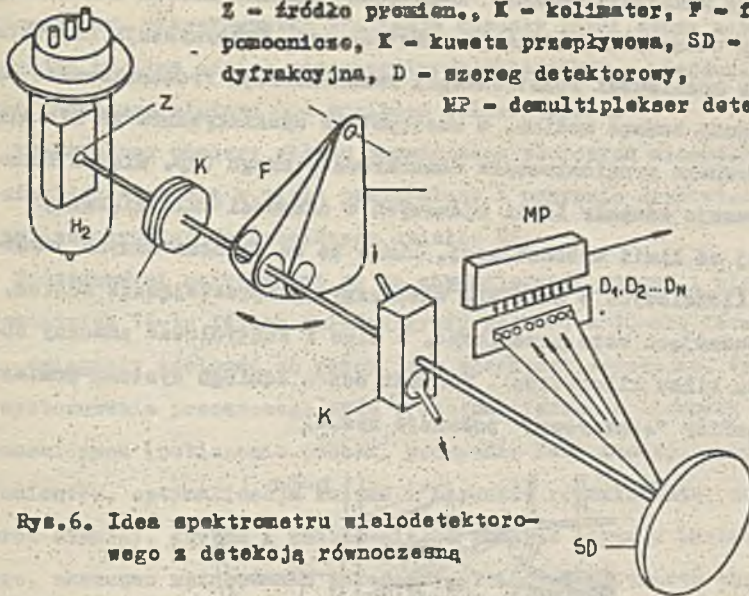
Rys.5. Idea przepływomierza z wykorzystaniem magn. rez. jądrowego

1 - polaryzator, 2 - magnes, 3 - przestrzeń polaryzacji
4 - detektor MRJ, 7 - odbiornik sygnału

Brak elektrod penetrujących rurociąg jest tutaj oczywistą zaletą. Dla małych przepływów objętościowych w gazach i cieczach korzystna okazała się metoda efektu dopplerowskiego fali cieplnej, generowanej np. w układzie pętli fazowej. Nowe możliwości tradycyjnym metodom stworzyły autonomiczne procesory, co np. w gęstościomierzu wibracyjno-rezonansowym pozwoliło na ciągłe pomiary gęstości w przepływie (z korekcją temperaturą).

- b/ Nowe możliwości w pomiarach fizykochemicznych metodami optycznymi (analiza składu, wyznaczenie parametrów widmowych materiałów i źródeł promieniowania) stwarza spektroskopię optyczną z detekcją równoczesną. Spektrometr wielodetektorowy (wg rys.6), wspomagany szybkimi układami przetwarzania danych widmowych, pozwala na wyznaczenie charakterystyk widmowych w czasach pojedynczych mikrosekund. W ten sposób staje się możliwe oznaczenie analityczne w przepływie mieszanin wieloskładnikowych, detekcja jakościowa i ilościowa w technikach chromatograficznych oraz cisłe widmowe śledzenie szybko-przebiegających przemian chemicznych

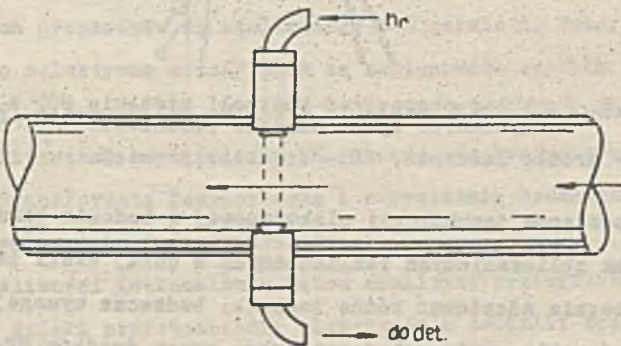
Z - źródło promien., K - kolimator, F - filtry pomocnicze, K - kłosa przepływowo, SD - siatka dyfrakcyjna, D - szereg detektorów, MP - demultipleksor detektorów



Rys.6. Idea spektrometru wielodetektorowego z detekcją równoczesną

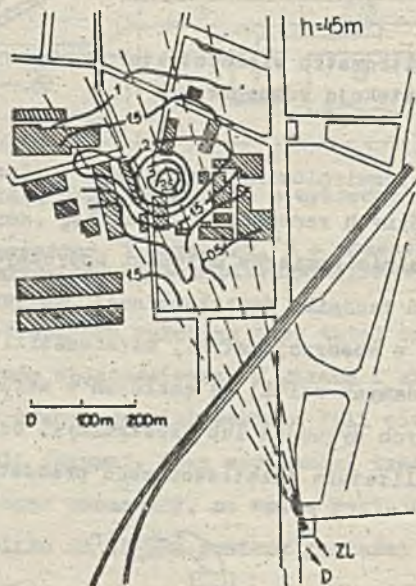
i efektów emisji promieniowania świetlnego w plazmie oraz źródłach promieniowania różnych rodzajów.

Także w dziedzinie pomiarów metodami optycznymi należy wskazać na rozwój zastosowań techniki światłowodowej, zarówno do transmisji sygnałów optycznych w absorpcjometrii, nefelometrii i fluorymetrii jak i do transmisji danych wolnej od zakłóceń w warunkach systemów przemysłowych zagrożonych wybuchem lub szczególnymi oddziaływaniami elektrycznymi. Ideę analizatora światłowodowego przedstawia rys.7.



Rys.7. Schemat naczyń do pomiarów z wykorzystaniem światłowodów. Naczynie przepływowe

Szczególne znaczenie nabiera "obszarowa" analiza składu chemicznego powietrza w otoczeniu instalacji przetwórczej. Wykorzystuje się tutaj analityczne możliwości spektroskopii ramanowskiej. Promieniowanie rozpraszane przez badane medium, w następstwie oddziaływania na nie wiązki intensywnego promieniowania monochromatycznego (np. wiązka laserowa), wykazuje zespoły linii widmowych o długości fali większej i mniejszej od linii wzbudzającej. Linie te są źródłem danych jakościowych i ilościowych o składzie chemicznym rozpraszającego medium. Wiązka wzbudzająca może przemierać, a więc i kontrolować znaczny obszar (rzędu kilku kilometrów). Schemat odpowiedniego systemu pomiarowego do analizy "obszarowej" pokazuje rys.8.



Rys.8. Przykład obszarowej kontroli stężenia NO_2 z wykorzystaniem spektrometrii ramanowskiej
ZL - źródło laserowe, D - detektor promień.

c// Dzięki postępcowi technologii elektronowej w budowie bardzo szybkich jednostek obliczeniowych realizowanych w dużej skali integracji, można obecnie adoptować różne techniki badawcze wymagające złożonych algorytmów obliczeniowych do warunków pracy środków MP. Atrakcyjna wykrywalność i analityczna selektywność spektrometrii mas, zwłaszcza w realizacji kwadrupolowego filtra mas (QMS) jest wykorzy-

stywana w przemysłowych analizatorach mieszanin gazowych bądź ciekłych. Autonomiczny mikrokomputer analizuje zespoły linii widna masowego wyznaczając on-line udział poszczególnych składników w mieszaninie, co stanowi procedurę złożoną pod względem obliczeniowym.

Przemysłowe pomiary składu chemicznego złożonych mieszanin gazowych i ciekłych stanowią w wielu przemysłach i ochronie środowiska jeden z najintensywniej doskonalonych działów MP.

Podstawowymi narzędziami są tu chromatografy gazowe i cieczowe. W ostatnich 15-tu latach chromatografy gazowe, a 10-ciu latach cieczowe, osiągnęły zdolność do pracy jako aparatura procesowa. Warunkiem przystosowania procesowego było: zautomatyzowanie licznych operacji pomocniczych (pobieranie próbek, podawanie fazy nośnej, programowanie gradientów, optymalizacja kolumn i warunków rozdzielania, dobór detektorów elutu), szybka i pseudo-ciągła analiza sygnału chromatograficznego, okresowe wzorcowanie jakościowe i ilościowe traktu chromatograficznego (bez przerywania analizy), osiągnięcie wysokiej niezawodności skomplikowanych i "ciężko" pracujących zespołów chromatograficznych (dłg automatyczna kontrola i wymiana). Autonomiczna jednostka sterująca obliczeniowa musi podołać programowo i pod względem szybkości w/w zadaniom. Dalszy postęp w tym rodzaju analityki procesowej rokuje wykorzystanie fourierowskiej transformacji sygnałów do dekonwolucji sygnałów chromatograficznych w przypadku przejścia z tradycyjnego cyklu chromatograficznego na cykl zwielokrotniony i przyśpieszony.

Innym przykładem istotnego postępu dzięki wykorzystaniu autonomicznych, szybkich procesorów są analizatory podejrzewieni. Tradycyjne, proste lecz mało selektywne metody NDIR są zastępowane szybkim przemiataniem i analizą widma IR (np. MIRAN). Tu także, dla podwyższenia wykrywalności analitycznej analizatorów IR stosuje się konfigurację spektrometryczną z transformatą fourierowską i odpowiednią jednostką z szybkim przetwarzaniem sygnału fourierowskiego.

Dalsze możliwości doskonalenia metod analityki przemysłowo-procesowej powstają dzięki przystosowaniu algorytmów z techniki rozpoznawania obrazów do obróbki złożonych i często zakłóconych sygnałów analitycznych. Metodą, która potwierdziła już swoją przydatność w analizatorach

przeanalizowanych jest dotychczas karalazyna. Jest to szczególnie efektywne przy oznaczaniu śladowym składnika, którego linia zanika na tle zakłóceń w złożonym obszarze spektralnym.

5. Nowe technologie środków MP

Z wielu charakterystycznych cech technologiczno-konstrukcyjnego rozwoju MP chciałbym omówić dwie, szczególnie istotne.

A - Techniki próbkowania w przepływie (flow injection analysis FIA)

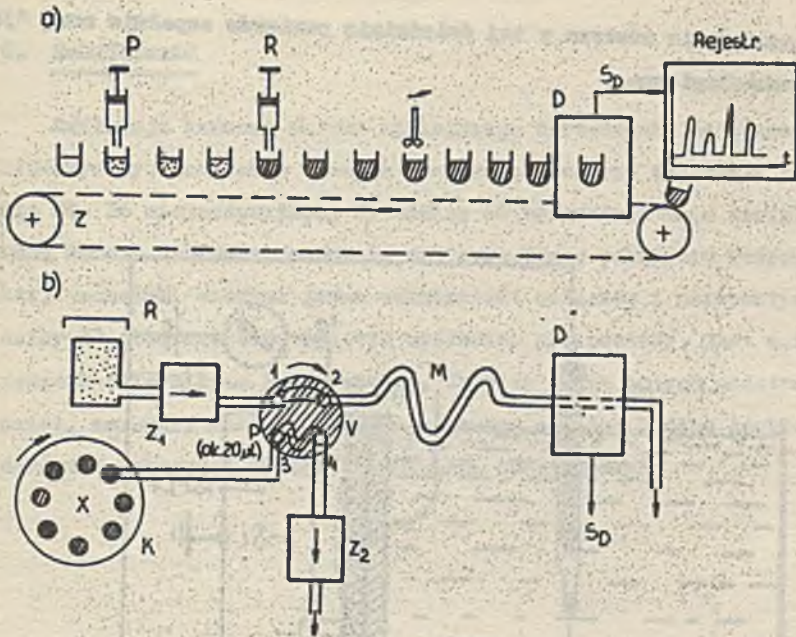
stały się przewrotem dla dotychczas powszechnej "mokrej", chemicznej analizy składu chemicznego.

Jedną z przeszkód w przenoszeniu laboratoryjnych doświadczeń analitycznych do procesowej analizy on-line była złożoność, długoczasowa periodyczność i znaczna zawodność techniczna metod laboratoryjnych. W latach 70-tych rozpoczęto wprowadzanie do praktyki metod i technik FIA (zresztą na podstawie doświadczeń z rozwoju chromatografii cieczowej).

Istota FIA polega na okresowym (np. co 20 s) wstrzykiwaniu ściśle powtarzanej porcji analizowanej próbki do strumienia reagentu - wg schematu na rys.9. Na wyznaczonym odcinku przepływu zachodzi wymieszanie, przereagowanie i pomiar efektu reakcji w odpowiednim detektorze (np. optycznym, elektrochemicznym, masowym lub innym).

Pomiar w detektorze przebiega więc w warunkach chwilowych równowag. Impulsowe sygnały pomiarowe po odpowiednim przetworzeniu reprezentują uśrednioną za okres wstrzyknięcia informację o stężeniu składnika.

Przy zapewnieniu śdanych warunków przepływu i iniekcji osiąga się bardzo dobre powtarzalności, przy objętościach próbek rzędu 20 μ l. W opracowaniu znajdują się zintegrowane systemy przepływowe, w których zminimalizowano liczbę dyskretnych elementów konstrukcyjnych. Autonomiczny mikrokomputer kontroluje próbkowanie i przepływy oraz przetwarza złożone sygnały detektora na wynik pomiaru stężenia.



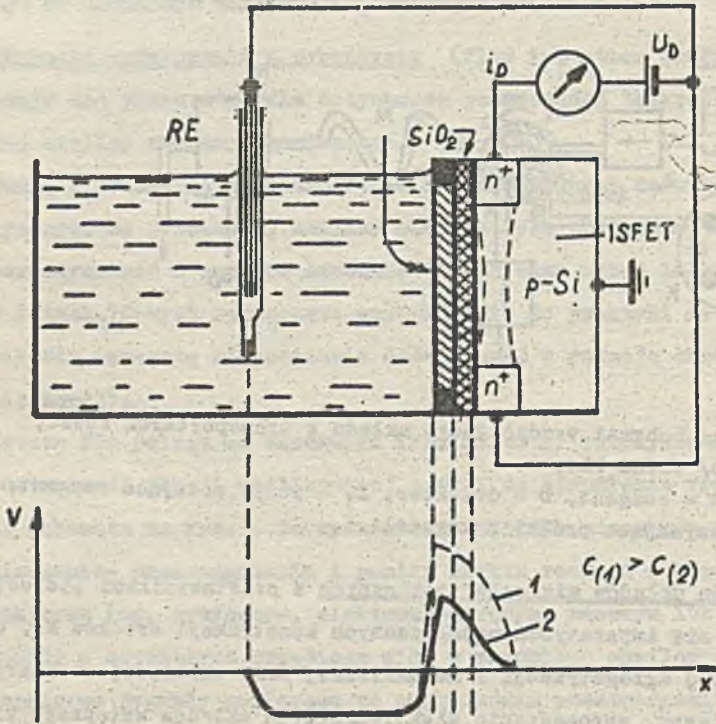
Rys.9. a/ Schemat tradycyjnego układu z transporterem kweit,
b/ Układ FIA.

F - próbka, R - reagent, D - detektor, Z₁ - pompa podająca reagent,
Z₂ - pompa zasysająca próbki z karuzeli K.

B - Integracja układów mikroelektronicznych z przetwornikami pierwotnymi stała się imperatywem współczesnych konstrukcji środków MP. Obok powszechnej agregatyżacji i mechanicznej oraz układowej standaryzacji rozwiązań, wprowadzanie elektronicznych układów wstępnego przetwarzania sygnałów do wnętrza (obudowy) przetwornika daje szereg dodatkowych zalet. Wzmocnienie i standaryzacja sygnału liniowego, a zwłaszcza wypełnienie warunków iakrobezpieczności torów transmisyjnych i przetworników znajduje właściwe rozwiązanie. Przykładami mogą tu być przetworniki pojemnościowe ciśnienia, przepływomierze, głowice termoparowe i rezystancyjne w pomiarach temperatur i wiele innych.

Szczególne znamienne przykłady takiej integracji są elektrochemiczne analizatory potencjometryczne : pehametry i koncentratometry z elektrodami jonoselektywnymi. Zintegrowanie elektrody jonoselektywnej ze wzmacniaczem na tranzystorze typu FET pokazano na rys.10.

Takie rozwiązanie stwarza w tej dziedzinie pomiarów zupełnie nową "jakość" technologiczną.



Rys.10. Schemat elektrody jonoselektywnej z tranzystorem FET (ISFET) oraz rozkład potencjału przy membranie.

6. Zakończenie

Refleksja końcowa autora niniejszego opracowania ma charakter historyczny. Pokolenie naszych Nauczycieli dobrze zasłużyło się sprawie MP. Do wieloaspektowej dziedziny MP wprowadził mnie Profesor Edmund Romer. Profesor, podobnie jak całe tamto pokolenie Twórców polskiej techniki, widział jasno całokształt związków i perspektyw dziedziny MP. Obrazem tego sposobu myślenia, tej postawy, jest m.in. poręcznik "Miernictwo Przemysłowe". Jest to jedno z tych podstawowych dzieł, na które naszemu pokoleniu trudno się już będzie zdobyć, by dorównać zakresowi treści i zasięgowi oddziaływania.

Jerzy FRĄCZEK

**ROZWOJ DYDAKTYKI W DZIEDZINIE MIERNICTWA PRZEMYSŁOWEGO
W POLITECHNICE ŚLĄSKIEJ**

CZYM JEST MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE ?

Aby odpowiedzieć na postawione w tytule pytanie zacytujmy fragment z przedmowy do wydania pierwszego monografii prof. Edmunda Romera "Miernictwo przemysłowe" z czerwca 1967 r. :

"Miernictwo Przemysłowe jest gałęzią metrologii, której zadaniem jest dostarczenie informacji potrzebnych do optymalnego prowadzenia procesów przemysłowych a zwłaszcza do ich automatyzacji".

Po 10-ciu latach, w styczniu 1978 r. prof. Edmund Romer pisze w przedmowie do trzeciego wydania uzupełnionego i poprawionego monografii "Miernictwo Przemysłowe" :

"Od czasu ukazania się pierwszego wydania Miernictwa Przemysłowego zauważamy znaczne zmiany w technologii miernictwa, jego zadaniach i wymaganiach jemu stawianych. Wymagania te coraz częściej dyktuje ważny odbiór informacji - układy automatyki".

Zacytujmy jeszcze z wydania trzeciego wykaz zadań, jakie stawia się Miernictwu Przemysłowemu : "Zadaniem MP jest dostarczenie informacji dla następujących celów :

- I. Informacje potrzebne do kontroli i optymalnego prowadzenia procesów. Należą tu trzy grupy mierzonych wielkości, odnoszących się bezpośrednio do procesu :
 - a/ ilość substancji wejściowych i wyjściowych,
 - b/ stany procesów i urządzeń,
 - c/ składy chemiczne i własności substancji doprowadzanych do procesu, w samym procesie oraz półproduktów i gotowych produktów.
- II. Informacje potrzebne do rozrachunku zewnętrznego i wewnętrznego, planowania i ekonomii. Należą tu :

- a/ stany zapasów, surowców i półfabrykatów,
- b/ dopływ i zużycie surowców (ilościowo i jakościowo),
- c/ stany i odpływ gotowych produktów.

III. Informacje potrzebne do kontroli bezpieczeństwa i zdrowia załogi oraz zakładu. Należą tu :

- a/ toksyczne i szkodliwe dla zdrowia zanieczyszczenia atmosfery zakładu (i okolicy),
- b/ stany zagrażające wybuchem lub innym katastrofalnym niebezpieczeństwem dla załogi i urządzeń zakładu (np. brak płomienia, obecność gazów wybuchowych),
- c/ emisja szkodliwych składników (w gazach spalinowych, ściekach).

Interesuje nas wreszcie co wpływa na kształt Miernictwa Przemysłowego. Oto dalszy cytat z monografii prof. Edmunda Romera :

"Istotny wpływ na kształtowanie MP ma współczesny rozwój elektroniki, automatyki i informatyki. Wpływ ten jest czworaki :

- a/ określa wymagania co do jakości i postaci sygnału pomiarowego, które powinny odpowiadać parametrom urządzenia wejściowego (układów automatyki oraz rejestracji, przetwarzania danych i maszyn matematycznych (tj. informatyki);
- b/ stwarza coraz większe możliwości stosowania w procesie pomiarowym MP nowoczesnej techniki elektronicznej oraz cyfrowej i informatycznej ;
- c/ rozwój teorii i technik automatyki od prostych, sztywnych indywidualnych obwodów regulacyjnych aż do systemów kompleksowej automatyzacji z regulacją optymalną i adaptacją funkcyjną czy nawet strukturalną stwarza coraz wyższe potrzeby co do ilości i różnorodności informacji uzyskiwanych drogą pomiaru ;
- d/ ze wzrostem ilości potrzebnych informacji na pierwszy plan wysuwa się niezawodność urządzeń pomiarowych. Urządzenia pomiarowe, zwłaszcza czujniki będące w bezpośrednim kontakcie z procesem, są najsłabszym ogniwem w systemach regulacji, automatycznej, a więc wymagają szczególnych środków dla zapewnienia funkcjonowania bez przerw i awarii".

Cytowane fragmenty dostarczyły nam definicję MP, jego zadania oraz czyn-

niki mające wpływ na kształtowanie MP. Dostrzegamy w nich także, iż rozwój MP jest powiązany z rozwojem elektroniki, automatyki i informatyki. To dzięki tym dziedzinom MP rozszerza zasięg swego istnienia. Istnieje również relacja odwrotna. MP przez rozwój technik eksperymentowania i pomiaru oraz podbudowy teoretycznej stwarza możliwości dla szerszego stosowania elektroniki, układów do sterowania oraz urządzeń informatycznych. Cechą charakterystyczną współczesnego miernictwa jest w jednakowym stopniu kładzenie nacisku na stronę praktyczną jak i teoretyczną związaną z pomiarem.

Na MP można spoglądać pod kątem widzenia zastosowań w przemysłach przetwórczych i wytwórczych. Dydaktyka w dziedzinie MP w Politechnice Śląskiej obejmowała od początku zastosowania w przemysłach przetwórczych, gdyż takie było zapotrzebowanie regionu śląskiego. Ten też obszar zastosowań jest ujęty w monografii prof. Edmunda Romera.

W dniu dzisiejszym możemy mówić, iż MP jest reprezentowane w dydaktyce trzech Wydziałów : Automatyki i Informatyki, Elektrycznego, Mechaniczno-Energetycznego. Rozwój przedmiotu na poszczególnych wydziałach był uwarunkowany (i jest nadal) potrzebami kierunków dydaktycznych i decyzjami Rad Wydziałów w zakresie celowości rozwoju przedmiotu i wreszcie stopniem zaangażowania kadr skupionych wokół zagadnień MP w rozwój przedmiotu.

W niniejszym referacie podjęto próbę przedstawienia rozwoju MP w Politechnice Śląskiej idąc od początku śladem udziału prof. Edmunda Romera w rozwój MP. Potem w naturalny sposób dołączyli inni. Ich udział jest także w referacie przedstawiony. Szczególnego podkreślenia poza prof. Edmundem Romerem wymaga udział prof. Ryszarda Hagla z Wydziału Elektrycznego w rozwoju dydaktyki w dziedzinie miernictwa wielkości nieelektrycznych. Prof. Ryszard Hagel jest autorem pierwszej publikacji książkowej polskiej pt. "Miernictwo dynamiczne". Prof. Artur Metal w przedmowie do tej książki pisze : "Dopiero rozwój miernictwa wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi, a przede wszystkim rozwój automatyzacji procesów przemysłowych stworzyły niezbędne przesłanki ekonomiczno-techniczne do rozwoju teorii i praktyki miernictwa dynamicznego".

Przedstawiony w niniejszym referacie rozwój dydaktyki w dziedzinie

MP ograniczono do studiów dziennych w zakresie problematyki wynikającej z definicji MP prezentowanej przez prof. Edmunda Romera.

POCZĄTKI NAUCZANIA MIERNICTWA PRZEMYSŁOWEGO W POLITECHNICE ŚLĄSKIEJ

Nauczanie MP w Politechnice Śląskiej rozpoczęto niemal z chwilą jej powstania. Zaczątki wywodzą się z Katedry Pomiarów Maszyn Ciepłych Wydziału Mechanicznego, która powstała w 1945 r. Katedra została następnie przeniesiona na Wydział Mechaniczno-Energetyczny z chwilą jego powstania w 1953 r. Kierownikiem Katedry w 1946 r. był prof. Kazimierz Szawłowski. W roku 1946/47 kierownictwo katedry objął prof. Stanisław Ocheński do roku 1948/49. Następnie kierownictwo objął z. prof. Adam Markowski. Od 1948 roku w Katedrze rozpoczyna swą działalność mgr inż. Edmund Romer. Tworzy nowy przedmiot: "Przemysłowe przyrządy do pomiaru i regulacji" dla IV roku "grupy energetyczno-ruchowej". Prowadzi wykład w wymiarze 2 godz. tygodniowo oraz 1 godz. ćwiczeń dla sem. VIII. Wiedza z zakresu przedmiotu była praktycznie pogłębianą na stanowiskach laboratoryjnych w Laboratorium Maszyn Ciepłych kierowanego przez z. prof. Adama Markowskiego. Laboratorium maszynowe rozpoczęło organizować na jesieni 1946 roku. Obecnie funkcjonuje ono nadal jako "Laboratorium Maszynowe I" (przyrządy pomiarowe) oraz "Laboratorium Maszynowe II" (pomiaru urządzeń energetycznych).

Godny przytoczenia jest ten pierwszy program wykładu, jaki znajduje się w "Programie Politechniki Śląskiej na rok akad. 1949-50":
"Definicje jednostek i wzorce. Metody i przyrządy do pomiaru temperatury. Metody i przyrządy do pomiaru ciśnień. Metody i przyrządy do pomiaru przepływu cieczy i gazów. Metody i przyrządy dla pomiaru poziomu cieczy w zbiornikach. Teoria regulacji automatycznej procesów. Aparatura dla regulacji. Przenoszenie wskazań na odległość. Pomiaru i regulacja procesów w kotłowniach". Przedmiot miał wyraźnie zaznaczony charakter. Dotyczył pomiarów wielkości nieelektrycznych z możliwością uwzględnienia potrzeb automatyzacji oraz przesyłu sygnałów pomiarowych na odległość. Dostrzegamy więc w przedmiocie znamiona miernictwa przemysłowego.

W tym samym czasie od roku akad. 1948/49 Wydział Elektryczny wprowadza istotne zmiany dostosowujące działalność dydaktyczno-naukową do po-

trzeb Śląskiego przemysłu w zakresie jego modernizacji i wprowadzenia nowoczesnych technologii, wymagających dokładnej kontroli, automatycznej regulacji oraz sterowania. Powołano nowe katedry: Elektroautomatyki Przemysłowej oraz Elektroniki Przemysłowej. W 1954 r. zlikwidowano specjalność Telekomunikacja zaś uruchomiono specjalność Automatyka i Telemechanika. Katedra Miernictwa Elektrycznego w roku 1956 utworzyła nowy kierunek działalności: Pomiary Wielkości Nielektrycznych. Od początku kierunku ten rozwija mianowany docentem mgr inż. Edmund Roker. Przechodzi na Wydział Elektryczny w 1956 r. i obejmuje kierownictwo Zakładu Miernictwa Wielkości Nielektrycznych. W tymże roku organizuje Laboratorium Wielkości Nielektrycznych, do którego rozbudowy przyczynia się także mgr inż. Janusz Piotrowski (rozpoczął pracę w Zakładzie od 1957 r.). Obaj napisali pierwsze instrukcje do Laboratorium w formie powielanej.

Stan w zakresie planów studiów w roku 1957 można prześledzić na podstawie "Programu Politechniki Śląskiej na rok akad. 1956-1957". Zestawienie przedmiotów przedstawiono w tablicy 1. Są to przedmioty, w których zasadniczy lub znaczny zakres poświęcony jest Miernictwu Wielkości Nielektrycznych. Natomiast stan w roku akad. 1959/60 przedstawiono na podstawie "Programu Politechniki Śląskiej na rok akad. 1959/69". Obrazuje on sytuację, gdy znacznie rozwinięto w Politechnice Śląskiej programy dotyczące automatyzacji przemysłu.

W początkach rozwoju Pomiarów Wielkości Nielektrycznych w Politechnice Śląskiej odrębny problem stanowił brak odpowiedniego podręcznika akademickiego do wykładów jak i skryptu do ćwiczeń laboratoryjnych. Były dostępne książki poświęcone jednej wielkości fizycznej bądź jednemu działowi grupującemu ten sam rodzaj przyrządów. Spotykano także książki związane z pomiarami w poszczególnych gałęziach przemysłu. W tym okresie ukazały się również pierwsze opracowania doc. Edmunda Romera mogące być wykorzystane przez studentów w charakterze podręczników akademickich. W Załączniku 1 zestawiono przykłady książek mogące służyć pomocą przy nauczaniu Miernictwa Wielkości Nielektrycznych w latach pięćdziesiątych.

Książka A.M. Juricsina "Pomiary elektryczne wielkości nielektrycznych" swą treścią najbardziej była bliska co do zakresu jak i idei, które przedmiot "Miernictwo Wielkości Nielektrycznych" winian przekazać studentom

| Rok ak. | Wydział | Specjalność | Przedmiot | Wykładowca | Rok | Sem. | Tyg. godzin | | Pogoda min | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------|--|------------------------|-------------|------|-------------|-----|---------------|---|---|
| | | | | | | | u | Lab | | | |
| 1956/57 | Elektryczny | Automatyka i Telemechanika | Pomiary technologiczne | doc. E. Romer | III | VI | 3 | - | - | + | |
| | | | Przyrządy i automatyka ^{x)} | z. prof. M. Ba- ran | IV | VIII | 2 | 1 | - | - | + |
| | | | Metody elektryczne w pomiarach | doc. E. Romer | Kurs mgr | I | I | 2 | - | - | - |
| | | | Aparatura i Urządzenia Przem. Chem. | | | | | | | | |
| 1959/60 | Elektryczny | Elektrotechnika Przemysłowa | Miernictwo Wielkości Nielelekt. | doc. E. Romer | IV | VIII | 2 | 1 | - | - | |
| | | | Miernictwo Wielkości Nielelekt. | | V | IX | - | - | 2 | - | + |
| | | | Miernictwo Wielkości Nielelekt. | doc. E. Romer | IV | VII | 4 | - | - | - | - |
| | | | Miernictwo Ciepł. ^{x)} | z. prof. A. Markowski | IV | VIII | - | - | 2 | - | - |
| Mechaniczno-Energetyczny | Energetyka Ciepła | Maszyny i urządź. energetyczne | Aparatura i urządzenia przemysłu chemicznego | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Tablica 1. Przedmioty, w których ujmowano zagadnienia Miernictwa Wielkości Nielelektrycznych w roku akad. 1956/57 i 1959/60 i studia dzienne.

x) Przedmioty tylko częściowo ujmujące zagadnienia Miernictwa Wielkości Nielelektrycznych w sposób ogólny.

w okresie rozwijającego się zainteresowania zagadnieniami automatyzacji. Zadaniem podstawowym książki było omówienie rozmaitych rodzajów przetworników jak również układów pomiarowych charakterystycznych dla pomiarów elektrycznych wielkości nieelektrycznych. Pierwszą część książki poświęcono wykładowi teorii i zasadniczym właściwościom przetworników. Drugą część poświęcono układowi pomiarowym stosowanym najczęściej w przyrządach elektrycznych do mierzenia wielkości nieelektrycznych ze szczególnym uwzględnieniem automatycznych układów kompensacyjnych i mostkowych. Trzecią część książki poświęcono rozpatrzeniu typowych najbardziej rozpowszechnionych w przemyśle (radzieckim) przyrządów elektrycznych do pomiaru wielkości nieelektrycznych. Część trzecią ułożono wg mierzonych wielkości nieelektrycznych.

Z książką A.M.Turiczina wiąże się najprawdopodobniej także wprowadzenie do powszechnego stosowania nazwy "miernictwo wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi". Jak pisał we wstępie swej książki A.M.Turiczin : "Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi stanowią bardzo rozległy dział miernictwa obejmując w praktyce pomiary wszystkich wielkości dokonywane przy badaniu rozmaitych zjawisk fizycznych i chemicznych oraz kontroli procesów wytwórczych". W swej książce ograniczył się jedynie do pomiarów dla potrzeb przemysłowych, kładąc główny nacisk na samo przetwarzanie zachodzące w czujniku i przetworniku. "Miernictwo przemysłowe" jest więc pojęciem ogólniejszym w zakresie obszaru odniesionego do jednej wielkości zaś węższym z uwagi na ich rodzaj. Obecnie pomimo nadal stosowanej nazwy "miernictwo wielkości nieelektrycznych" treść przedmiotów jest bliższa "miernictwu przemysłowemu" a nazwa tylko wskazuje na rodzaj mierzonych wielkości.

Duże znaczenie w dydaktyce miało Laboratorium Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych i jego rozwój. Każdy z nowych pracowników Zakładu miał za zadanie opracowanie nowych stanowisk. W roku 1962 rozpoczyna staż mgr inż. Jerzy Frączek jako trzeci pracownik Zakładu. Otrzymuje zadanie budowy dwu stanowisk z zakresu stosowania techniki izotopowej, z którą w owym czasie wiązano wiele nadziei.

Dalszy rozwój MP wiąże się z powstaniem Wydziału Automatyki. Już w roku 1961 powstały jego zalążki na Wydziale Elektrycznym w postaci Oddziału Automatyki. Na mocy zarządzenia Ministra Szkolnictwa Wyższego z dnia 30

grudnia 1963 r. Wydział Automatyki rozpoczyna swą działalność od dnia 15 lutego 1964 r.

MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE Z CHWILA POWSTANIA WYDZIAŁU AUTOMATYKI

W związku z powstaniem Wydziału Automatyki została powołana Katedra Miernictwa Przemysłowego. Kierował nią doc. Edmund Romer. W skład Katedry weszli byli pracownicy Zakładu Miernictwa Wielkości Nielektrycznych, który nadal pozostał w strukturze Wydziału Elektrycznego. Pierwszy raz zatem pojawia się nazwa Miernictwo Przemysłowe - początkowo w nazwie Katedry a potem przedmiotu dydaktycznego, - obok nadal stosowanej : Miernictwo Wielkości Nielektrycznych.

Głównym tematem prac naukowych Katedry były zagadnienia analizy składu mieszanin gazowych metodami fizykalnymi. Przedmiotem działalności dydaktycznej były : wykład i zajęcia laboratoryjne z Miernictwa Wielkości Nielektrycznych, których program obejmował :

Metody, przyrządy, ich właściwości oraz układy do pomiaru najważniejszych wielkości fizycznych jak : ciśnienie, natężenie przepływu, wymiar, siła, prędkość, przyspieszenie, temperatura, skład chemiczny, właściwości substancji. Szczególny nacisk położono na metody przetwarzania na sygnał elektryczny, dokładność, źródła błędów oraz właściwości dynamiczne.

Udział MP w dydaktyce Wydziału Automatyki przedstawiono w tablicy 2. Uwzględniono tu także inne rodzaje studiów poza dziennymi dla późniejszego pokazania dynamiki rozwoju przedmiotu w planach studiów.

Na rozwój dydaktyki w dziedzinie MP miały wpływ zmiany organizacyjne Wydziału Automatyki jak i związane z tym przeszerogowania zespołu osobowego stanowiącego w początkach skład Katedry Miernictwa Przemysłowego.

Historia zmian organizacyjnych Wydziału jak i istotne dla rozwoju MP fakty były następujące :

1964 + 1969 r. - samodzielna działalność Katedry Miernictwa Przemysłowego.

1969 r. - zmniejszenie liczby katedr do 5-ciu ; Zespół wchodzi w skład nowej Katedry Informatyki pod nazwą Zespół Metrologii.

1971 r. - utworzenie struktury instytucyjnej ; Zespół wchodzi w skład Instytutu Automatyki Przemysłowej i Pomiarów i przyjmuje nazwę Zespół Systemów Pomiarowych.

Tablica 2. Udział MP w dydaktyce Wydziału Automatyki

| Rok.ak | Rodzaj studiów | Przedmiot | Wykładowca | Rok | Sem. | Tyg.godzin | | |
|--------------------------------|---|--|---|-------|-------|------------|----|-----|
| | | | | | | w | sw | lab |
| 1966/ 1967 | Dzienne | Miernictwo Przemysłowe | prof.E.Romer | III | VI | 1 | - | - |
| | | | | IV | VII | 2 | - | 2 |
| | Studium Po-dyplomowe Automatyki | Miernictwo Przemysłowe | prof.E.Romer | - | I tr | 6 | - | - |
| | | | | - | II tr | 2 | - | 3 |
| | Dzienne Wydział El. | Miernictwo Wlk.Nieel. | prof.E.Romer | V | IX | 2 | - | - |
| | | | | V | X | - | - | 2 |
| Wieczorowe Wydz.Elek. | Miernictwo Wlk.Nieel. | prof.E.Romer. | III | V | 2 | - | - | |
| | | | IV | VII | - | - | 2 | |
| 1967/ 1968 | Dzienne | Mier.Przem. | prof.E.Romer | III | VI | 1 | - | - |
| | | | | IV | VII | 2 | - | 2 |
| | Studium Po-dyplom.Autom. | Miern.Przem. | prof.E.Romer | - | I tr. | 5 | - | - |
| | | | | - | II tr | 1 | - | 1 |
| Wieczorowe | Miern.Wlk. Nieelktr. | prof.E.Romer | III | VI | 2 | - | - | |
| | | | IV | VII | - | - | 2 | |
| 1968/ 1969 | Dzienne | Mier.Przem. | prof.E.Romer | IV | VII | 3 | - | - |
| | | | | IV | VIII | - | - | 2 |
| | Studium Po-dypl.Autom. | Mier.Przem. | prof.E.Romer | - | I tr | 3 | - | - |
| | | | | - | II tr | - | - | 2 |
| | Wieczorowe | Miern.Wlk. Nieelktr. | prof.E.Romer | III | VI | 2 | - | - |
| | | | | IV | VII | - | - | - |
| Wydz.Chem. PK Oświęcim | Aparatura Kontrolno-Pomiarowa | mgr J.Fraczek | IV | VIII | 2 | - | 2 | |
| 1969/ 1970 1970/ 1971 | Dzienne | Miern.Przem. | prof.E.Romer ^{a)} | III | VI | 1(2) | - | - |
| | | | | IV | VII | 2(1) | - | 3 |
| | Studium Po-dypl.Autom. | Miern.Przem. | prof.E.Romer | - | I tr | 3 | - | - |
| - | | | | II tr | - | - | 2 | |
| 1971/ 1972 | Wieczorowe | Mier.Wlk.Nieel. (od 1971/71 Miernictwo II) | prof.E.Romer od 1971/72 dr J.Fraczek od 1974/75 dr S.Kopacz | III | VI | 2 | - | - |
| | | | | IV | VII | - | - | 2 |
| 1983/ 1984 | Dzienne specjaln.: a/Automatyka b/Aparatura Elektron. | Miern.Przem. | xx) doc.J.Fraczek od r.1973/74 | III | V | 2 | - | - |
| | | | | a/ | VI | - | - | 2 |
| | | | | III | VI | 2 | - | 2 |
| | | | | b/ | | | | |

x) od 1971 r. odpowiedzialny za Laboratorium : dr J.Fraczek
 xx) od 1982 r. " " : dr J.Zelezick

- 1971 r. - Wydział Automatyki zostaje przemianowany na Wydział Automatyki i Informatyki.
- 1973 r. - Wydział otrzymuje nowy gmach; Zespół Systemów Pomiarowych (podobnie jak i inne jednostki Wydziału) otrzymuje powierzchnię lokalową pozwalającą na znaczną rozbudowę laboratoriów.
- 1973 r. - Sesja z okazji X-lecia działalności Wydziału Automatyki i Informatyki; prepozycja referatu prof. Edmunda Romera : "Problemy miernictwa przemysłowego w dobie automatyki i informatyki".
- 1977 r. - Kolejne zmiany organizacyjne Wydziału : Zespół Systemów Pomiarowych wchodzi w skład Instytutu Automatyki. Stan organizacyjny utrzymuje się do roku 1984.

Już w początkach istnienia Katedry Miernictwa Przemysłowego ukazują się skrypty do MP :

ROMER E. : Przemysłowe pomiary składu chemicznego w zastosowaniu do automatyki. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1966.

ROMER E.(red.): Instrukcja do laboratorium miernictwa przemysłowego. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1966 (opracowali J.Frączek, J.Nadziakiewicz, J.Piotrowski, W.Tarnowski).

ROMER E. : Przemysłowe pomiary temperatury. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1967.

Kolejną pozycją jest monografia o dużym znaczeniu w skali krajowej :

ROMER E. : Miernictwo Przemysłowe. Warszawa 1970, PWN.

W roku 1973 prof. Edmund Romer zaprzestał działalność wykładową i skupił swój wysiłek nad kolejnymi wydaniami monografii. Wykład z MP podjął dr Jerzy Frączek. W tym czasie Zespołem Systemów Pomiarowych kierował doc. Janusz Piotrowski. Zespół posiadał oprócz "Laboratorium Miernictwa Przemysłowego" także "Laboratorium Podstaw Metrologii" oraz "Laboratorium Miernictwa Elektrycznego". Z ostatnich dwóch dziedzin także prowadzone były wykłady.

Doc. Janusz Piotrowski był inicjatorem rozszerzenia zainteresowań Zespołu poza MP w dotychczasowym rozumieniu tj. o zagadnienia "Podstaw Metrologii" oraz "Systemów Pomiarowych". Te dwie dziedziny zaczęły żyć własnym życiem. Doc. Janusz Piotrowski napisał skrypt "Podstawy Metrologii", który został następnie wydany jako podręcznik w PWN. Doprowadził do powstania skryptów z ćwiczeń tablicowych i laboratorium podstaw metrologii, - jak i samego laboratorium. Był redaktorem i współautorem skryptu "Systemy

pomiarowe". W tym też okresie wzbogacono wykład i laboratorium miernictwa elektrycznego o zagadnienia pomiarów cyfrowych.

Przełom lat 1971/72 zaznaczył się na Wydziale Automatyki i Informatyki tendencją spadku zainteresowania MP jako przedmiotem podstawowym dla wszystkich specjalności i specjalizacji. Konieczne było nowe spojrzenie na MP i jego zakres oddziaływania w świetle rozwijającej się automatyki i Informatyki. Stąd propozycja wystąpienia prof. Edmunda Romera na sesji jubileuszowej w roku 1973, poprzedzana wieloma dyskusjami w Zespole Systemów Pomiarowych. "Schemat ogólny układu miernictwa przemysłowego w systemie automatyki" przedstawiony w proponowanym referacie został zawarty w wydaniu III uzupełnionym i poprawionym monografii "Miernictwo Przemysłowe" - Warszawa 1978, PWN. W Załączniku 2 przedstawiono zasadniczo punkty spisu treści monografii prof. E. Romera.

W dyskusji nad nowym kształtem MP uznano, że rozwój MP winien się opierać na dobrze funkcjonującym laboratorium, w którym uwzględnia się na bieżąco zaistniałe tendencje w budowie aparatury, sposobie przetwarzania sygnałów pomiarowych jak i tworzenia systemów pomiarowych. Przystąpiono więc do gruntownej modernizacji "Laboratorium Miernictwa Przemysłowego" w myśl przedstawionej idei i zgodnie z definicją MP. Kilka lat pracy nad modernizacją zakończone wydaniem skryptu : J. Frączek (red.): "Laboratorium Miernictwa Przemysłowego" , skrypt Pol. Śl., nr 736, Gliwice 1978 (opracowali: J. Frączek, S. Kopacz, L. Lisak, D. Olszewska, J. Sobstel, J. Szebeszczyk, S. Wałuś, J. Żelezik).

W roku 1984 obchodzimy XX-lecie Wydziału Automatyki i Informatyki. Minęło więc 10 lat od chwili, gdy podjęto poważne dyskusje nad kształtem MP i działania modernizacyjne. Oddano obecnie do druku nowe opracowanie skryptu "Laboratorium miernictwa przemysłowego wielkości nieelektrycznych" Spis treści zawarty w Załączniku 3 obrazuje aktualne możliwości laboratorium pod względem tematycznym. Wykład jednak wymaga gruntownej przebudowy. W znacznym stopniu trzeba uwzględnić fakt, że mikroprocesory stały się normalną częścią składową urządzeń pomiarowych. Na taką możliwość stosowania mikroprocesorów zwracał uwagę prof. Edmund Romer w przedmowie do wydania trzeciego swej monografii. A więc pilną potrzebą staje się także napisanie nowoczesnego skryptu dla MP!

Prace naukowo-badawcze z zakresu MP towarzyszyły przez cały czas rozwojowi dydaktyki. Ich szczegółowe omówienie wykracza poza ramy niniejszego referatu. Jednak waga zagadnienia skłania autora do omówienia chociaż bibliografii, która czytelnikowi pozwoli na wniknięcie w szczegóły przynajmniej dotyczące Wydziału Automatyki i Informatyki.

Do roku 1969 większość prac n-b była inspirowana i kierowana przez prof. Edmunda Romera. Prace te dotyczyły głównie opracowań w zakresie analizatorów gazu. Dorobek w tym zakresie przedstawił doc. Janusz Piotrowski w opracowaniu: Piotrowski J. "Przegląd opracowań Katedry Miernictwa Przemysłowego w zakresie analizatorów gazu", Zesz. Nauk. Pol. Śl., Automatyka, sesz. 14, 1969.

Od chwili powstania Zespołu Metrologii (1969) jego kierownictwo przejmuje doc. Janusz Piotrowski inspirując na najbliższe lata w 1970 r. dwa główne tematy:

- 1/ Opracowanie metody i urządzeń do wyznaczania zawartości węgla w kąpieli konwertora" (zakończony w 1975 r.);
- 2/ System kontroli i rozrządu zasobów wody zlewni doświadczalnej - (znacznie rozszerzony jest kontynuowany nadal).

Powyższe tematy jak i inne w owym czasie realizowane są scharakteryzowane w opracowaniu: "Instytut Automatyki Przemysłowej i Pomiarów. Materiały informacyjne o stanie, osiągnięciach i planach Instytutu. Rok 1972" - Gliwice 1972.

Wyniki z realizacji drugiego z wymienionych tematów, pod ogólnym tytułem: "Sterowanie systemem wodno-gospodarczym na obszarze aglomeracji miejsko-przemysłowej" są referowane na organizowanych przez doc. Janusza Piotrowskiego konferencjach naukowych o tym samym tytule, zaś referaty są drukowane w Zeszytach Naukowych Politechniki Śl., serii Automatyka. Materiały z dotychczas odbytych trzech konferencji zostały opublikowane w zeszytach: 48/1979, 52/1980, 59/1981, 60/1981, 68/1983 i 69/1983.

W wszystkich wymienionych opracowaniach znajdujemy wyniki prac Zespołu powiązanych tematycznie z MP.

Aktualnego omówienia osiągnięć w dziedzinie "podstaw metrologii" oraz "systemów pomiarowych" (dziedziny zainspirowane przez doc. J. Piotrowskiego w Zespole) zostały przedstawione przez doc. J. Piotrowskiego na zebraniu

Komitetu Metrologii PAN w dniu 22.IX.1980 w referacie pt. : "Prace Instytutu Automatyki w dziedzinie podstaw metrologii i systemów pomiarowych"

Wydział ELEKTRYCZNY ; MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE w 1984 r.

Z okazji powstania Wydziału Automatyki kierownictwo Zakładu Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych w Katedrze Miernictwa Elektrycznego objął ówczesny adiunkt dr inż. Ryszard Hagel. Tworzy się nowy zespół ludzki, który rozwija dydaktykę w zakresie Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych dla Wydziału Elektrycznego. Stworzono także od podstaw Laboratorium Miernictwa Wielkości Nieelektrycznych.

Z okazji powstania w Politechnice Śląskiej struktury instytutowej został utworzony Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej, w którym kontynuowano rozwój dydaktyki w dziedzinie MWN. Do 1979 roku rozwojem kierował prof. Ryszard HAGEL. Przedwczesna śmierć, poprzedzona ciężką chorobą, przerwała Jego intensywną działalność w dniu 25.X.1979. Dokonał wiele dla dydaktyki jak i na polu naukowym. Obecnie rolę przewodnika podjął doc. Jan Zakrzewski.

W tablicy 3 przedstawiono obecny wymiar zajęć prowadzonych w ramach przedmiotu MWN z wykazem osób prowadzących zajęcia. Dla właściwego przebiegu procesu dydaktycznego pracownicy Instytutu wydali szereg skryptów oraz jedną książkę o zasięgu krajowym. Grono współautorów wydań skryptowych jest liczne, co świadczy o sile zespołu pracującego czynnie dla MWN. Aktualny stan wydanych skryptów i książek jest następujący :

1. HAGEL R. : Miernictwo dynamiczne. Warszawa 1975, PWT
2. HAGEL R. : Miernictwo wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Część I. Przetworniki i ich zastosowanie. Wyd. II poprawione. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1982
3. HAGEL R., PASECKA O. : Miernictwo Wielkości Nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Część II. Metody pomiarowe. Wydanie II. Skrypt Pol. Śl. Gliwice 1982
4. HAGEL R., SKUBIS T. : Materiały pomocnicze do wykładów z miernictwa wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1978
4. PARCHAŃSKI J. (red.): Ćwiczenia laboratoryjne z miernictwa wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Wydanie III, poprawione. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1981. Opracowali : M. Bojarska, A. Grabowiecka,

Tablica 3. Udział MP w dydaktyce Wydziału Elektrycznego w 1984 r. Studia dzienne

| Specjalność | Przedmiot | Prowadzący | Rok | Sem. | Tyg-godsin | |
|--|---|--------------------|-----|------|------------|--------|
| | | | | | w | dw lab |
| Budowa maszyn i urządzeń elektrycznych | Miernictwo wielkości magnetycznych i nieelektrycznych | dr T. Skubis | III | VI | 2 | - |
| | | | IV | VII | - | 2 |
| Przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej | Miernictwo wielkości nieelektrycz. | dr T. Skubis | III | VI | 2 | - |
| | | | IV | VII | - | 2 |
| Automatyka i metrologia elektryczna | Miernictwo Przemysłowe | doc. J. Zakrzewski | IV | VII | 2 | 1 |
| | | | IV | VIII | 2 | 1 |
| | Miernictwo dynamiczne | doc. J. Zakrzewski | IV | VII | 2 | 2 |

R.Grzybowski, R.Hagel, J.Jakubiec, A.Lebiedzki, A.Łatka, M.Miłek,
J.Parohański, O.Pasecka, T.Skubis

6. HAGEL R., BRANDYS O. : Projektowanie przetworników pomiarowych.
Część I. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1972

7. HAGEL R. (red.): Projektowanie przetworników pomiarowych. Część II.
Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1976. Opracowali : M.Bojarska, P.Pilipski,
A.Grabowiecka, R.Hagel, O.Pasecka, L.Zieleźnik.

Z uwagi na wysoką rangę książki "Miernictwo dynamiczne", w Załączniku
4 zamieszczono spis treści książki z podaniem głównych punktów. Natomiast
w Załączniku 5 podano wykaz ćwiczeń laboratoryjnych w oparciu o skrypt
pod redakcją dr J.Parohańskiego.

WYDZIAŁ MECHANICZNO-ENERGETYCZNY ; MIERNICTWO PRZEMYSŁOWE W 1984 r.

W roku 1960, z uwagi na poszerzenie zakresu działalności, Katedra Po-
miarów Maszyn Ciepłych została przemianowana na Katedrę Miernictwa i Au-
tomatyki Urządzeń Energetycznych. Od roku 1961 kierownictwo Katedry objął
doc.Czesław Graczyk. W tym też roku Katedra otrzymała nowe pomieszczenia
laboratoryjne wraz z wyposażeniem w budynku Hali Maszyn Ciepłych.

Zagadnienia MP były reprezentowane w przedmiocie "Podstawy miernictwa
ciepłego", w którego programie omawiano pomiary : ciśnienia, gęstości,
wilgotności, mocy, składu gazu i wartości opałowej.

Z chwilą powstania struktury instytucyjnej Katedra weszła w skład Ins-
tytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych jako Zakład Miernictwa i Automa-
tyki Procesów Energetycznych. Kierownikiem Zakładu do roku 1981 był prof.
Czesław GRACZYK (zm. w jesieni 1981 r.). Obecnie Zakładem kieruje doc.
Stanisław Kopeć. Równocześnie prowadzi wykład i kieruje laboratorium,
które zawierają elementy składające się na MP. W ramach przedmiotu "Me-
tologia wielkości energetycznych" prowadzony jest wykład 2 godz. tyg.
w sem.V. W sem.VI prowadzona jest druga część laboratorium, lecz tylko
jedno ćwiczenie ma związek z MP.

Wykład "Metrologia wielkości energetycznych" w części poświęcony jest
podstawom metrologii. Na treść MP składają się : pomiary temperatury,
pomiary ciśnień, pomiary strumienia masy i strumienia objętości płynów,
pomiar wilgotności, analiza gazów palnych i spalin. Omawiane są zasady
pomiaru, urządzenia pomiarowe, metody wzorowania. Dla przedmiotu został

wydany skrypt :

GRACZYK Os. (red.): Laboratorium miernictwa cieplnego. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1981. Wydanie drugie poprawione i uzupełnione. Opracowali: O.Bereźnicki, S.Kopeć, A.Markowski, T.Michalski, Z.Moysacowicz, S.Pitułko, E.Świeroszyński, T.Wojakowski.

Skrypt jest wykorzystywany nie tylko w laboratorium, ale także służy pomocą w wykładach. Dla porównania z innymi laboratoriami w Załączniku 6 przedstawiono wykaz ćwiczeń w oparciu o program studiów oraz spis treści skryptu do laboratorium.

Doc.Stanisław Kopeć prowadzi także wykład dla Wydziału Inżynierii Sanitarnej 1 godz. tyg. w sem.VIII i IX. Wykładany materiał pokrywa się z częścią I skryptu.

Z A K O Ń C Z E N I E

W referacie starano się przedstawić rozwój dydaktyki w dziedzinie MP w Politechnice Śląskiej. Zapewne przedstawiony materiał wymaga uzupełnień, gdyż nie zawarto w nim wielu faktów czy opinii, które są możliwe do osiągnięcia jedynie w bezpośredniej rozmowie z uczestnikami tworzenia dydaktyki w dziedzinie MP. Autor miał okazję skorzystać z tej drogi przynajmniej w ograniczonym zakresie.

Autor składa podziękowanie doc.Janowi Zakrzewskiemu i dr Tadeuszowi Skubisowi z Wydziału Elektrycznego oraz doc.Stanisławowi Kopeciowi i dr. Tadeuszowi Michalskiemu z Wydziału Mechaniczno-Energetycznego, którzy udzieliли wielu wyjaśnień i udostępniłi materiały pozwalające na przedstawienie aktualnego stanu MP na wymienionych wydziałach.

BIBLIOGRAFIA

1. Książki i skrypty wyszczególnione w tekście referatu
2. Aktualne programy ramowe udostępnione z Wydz. Elektrycznego oraz Mechaniczno-Energetycznego
3. Politechnika Śląska 1945-1960. Opr. Zespół pod red. T. Laskowskiego, Gliwice 1960
4. Politechnika Śląska 1945-1970. Opr. Zespół pod red. J. Zarzyckiego, Gliwice-Katowice 1970
5. Programy Politechniki Śląskiej na lata akademickie: 1949/50, 1956/57, 1959/60, 1966/67, 1967/68, 1968/69, 1969/70, 1970/71, 1971/72, 1980/81
(oddzielne pozycje na każdy rok akademicki).

Z a ł ą c z n i k 1

Przykłady książek w języku polskim służące za podstawę do nauczania
Miernictwa Wielkości Nielektrycznych w latach pięćdziesiątych

1. BŁASZCZUK A. : Automatyczna kontrola składu gazów przemysłowych
Warszawa 1956, PWT
 2. ŁAPIŃSKI M. : Czujniki pomiarowe. Budowa i zastosowanie.
Warszawa 1957, PWT
 3. MODRZEJEWSKI B. : Pomiary pH. Warszawa 1952, PWT
 4. ROMER E. : Pomiary temperatury w technice. Wrocław 1951,
Książnica Atlas
 5. ROMER E. : skrypt Korespondencyjnego Kursu Aparatury Pomiarowej
dla Przem.Chem. i Przem.Mat.Bud. Wyd.NOT, Gliwice 1955
 6. RYSZKA E. : Mierzenie temperatur w urządzeniach hutniczych.
Warszawa 1954, PWT
 7. SOCHOR B. : Termometry elektryczne. Warszawa 1952, PWT
 8. SOTSKOV B.S. : Elementy urządzeń automatyki i telemechaniki.
Warszawa 1955, MON
 9. TURICZIN A.M. : Pomiary elektryczne wielkości nielektrycznych
Warszawa 1957, PWT. Tłumaczył z ros. mgr inż. A.Szulce.
Opiniodawcy : prof.M.Mazur, doc.E.Romer.
 10. WASZEK S., WACŁAWIAK J. : Analiza gazów. Warszawa 1956, PWT.
 11. ŻUCHOWSKI K.M. : Pomiary ciśnień. Warszawa 1953, PWT.
 12. MICHAŁSKI L., ECKERSDORF K. : Pomiary temperatury. Warszawa 1969,
WNT
- i inne.

Zasadnicze punkty spisu treści monografii prof. E. ROMERA "Miernictwo przemysłowe", wyd. III uzupełnione i poprawione. Warszawa 1978, PWN

1. WIADOMOŚCI OGÓLNE.

Wstęp. Istota i zadania miernictwa przemysłowego. Główne elementy i ogólny schemat układów MP. Wielkości mierzone i ich charakterystyka. Metody pomiarowe. Własności metrologiczne przyrządów i urządzeń pomiarowych. Pierwotne i wtórne przetwarzanie. Sygnał i łańcuch pomiarowy. Zakłócenia w układach MP i ich zwalczanie. Urządzenia wyjściowe MP. Własności eksploatacyjne i użytkowe aparatury pomiarowej.

2. POMIARY WIELKOŚCI MECHANICZNYCH

Uwagi wstępne. Pomiar czasu. Przetworniki analogowe wielkości mechanicznych na sygnał elektryczny. Przetwarzanie dyskretne wielkości mechanicznych. Urządzenia do pomiaru wielkości mechanicznych. Pomiar wielkości geometrycznych. Pomiar prędkości liniowej i kątownej. Pomiar siły, momentów, ciśnienia. Pomiar napięcia przepływu. Liczniki płynów. Wzorcowanie mechanicznych urządzeń pomiarowych.

3. POMIARY TEMPERATURY

Skala temperatur. Termometry szklane. Termometry ciśnieniowe. Termometry oporowe. Termometry termoelektryczne. Błędy statyczne stykowego pomiaru temperatury. Własności dynamiczne termometrów. Termometry optyczne. Sprawdzanie i wzorcowanie urządzeń do pomiaru temperatury.

4. POMIARY SKŁADU CHEMICZNEGO

Uwagi wstępne, systematyka. Zastosowanie promieniowania elektromagnetycznego do analizy w MP. Pochłanianie i rozpraszanie promieniowania elektromagnetycznego. Analizatory działające na zasadzie pochłaniania promieniowania w zakresie nadfioletu i widma widzialnego (absorpcjometri). Analizatory działające na zasadzie pochłaniania w zakresie widma podczerwonego (APC). Rentgenowskie analizatory spektralne (RAS). Inne analizatory optyczne. Analizatory termokonduktometryczne gazów. Analizatory zawartości tlenu. Spektrometry masowe. Analizatory elektrokonduktometryczne. Analizatory chemiczne. Chromatografia gazowa. Pomiar aktywności jonów elektrodami jonoselektywnymi. Wyznaczanie składu płynów metodami mechanicznymi. Pomiar wilgotności. Wzorcowanie i sprawdzanie analizatorów. Pobieranie i przygotowanie próbek do analizy. Własności dynamiczne analizatorów płynów.

5. POMIARY WŁAŚCIWOŚCI SUBSTANCJI

Uwagi wstępne. Pomiar gęstości płynów. Pomiar lepkości.

6. ZASTOSOWANIE PROMIENIOWANIA JĄDROWEGO W MIERNICTWIE PRZEMYSŁOWYM

Uwagi wstępne. Wzajemne oddziaływanie promieniowania jądrowego i materii. Źródła promieniowania jądrowego. Detektory promieniowania jądrowego. Układy pomiarowe detektorów. Sposoby stosowania promieniowania jądrowego w miernictwie. Czulość i błędy pomiaru. Przemysłowe zastosowanie izotopów do pomiarów i główne charakterystyki urządzeń pomiarowych. Ochrona radiologiczna.

7. PRZEMYSŁOWA SŁUŻBA POMIAROWA

Zadania przemysłowej służby pomiarowej. Utrzymanie sprawnego działania urządzeń i instalacji pomiarowych. Modernizacja, projektowanie i realizacja nowych urządzeń MP. Organizacja służby pomiarowej. Zagadnienie liczebności załogi SP.

Spis treści skryptu : "Laboratorium miernictwa przemysłowego wielkości nieelektrycznych" - pod red. Jerzego Frączka.

Opracowali : J.Frączek, S.Kopacz, D.Olszewska, J.Szebeszczyk, S.Waluś
J.Żelezik. Skrypt Politechniki Śląskiej (w druku)

- I. Wprowadzenie.
 - II. Pomiary temperatury
 - Ćwiczenie T.1. Wzorcowanie i sprawdzanie termometrów
 - " T.2. Pomiary temperatury gazu
 - " T.3. Własności dynamiczne termometrów
 - III. Pomiar siły, przesunięcia i wazenie
 - Ćwiczenie M1. Badanie tensometrów
 - " M2. Przetworniki tensometryczne siły
 - " M3. Wazenie pojazdów w ruchu
 - IV. Chromatografia gazowa
 - Ćwiczenie C1. Optymalizacja warunków pracy chromatografu
 - " C2. Wykorzystanie chromatografu
 - V. Pomiary fizyko-chemiczne
 - Ćwiczenie F1. Pomiar stężenia jonów wodorowych
 - " F2. Własności dynamiczne czujników pH-metrycznych
 - " F3. Pomiar mętności
 - VI. Pomiary natężenia przepływu płynów
 - Ćwiczenie P1 i P2. Pomiary natężenia przepływu gazu za pomocą zwęzek
 - " P3. Badanie właściwości przepływomierzy
 - " P4. Wzorcowanie przepływomierzy do pomiaru natężenia przepływu wody
 - " P5. Badanie rotamtru
 - VII. Pomiary izotopowe
 - Ćwiczenie I1. Pomiar absorpcji i rozproszenia
 - " I2. Badanie licznika Geigera-Müllera
 - " I3. Pomiar grubości metodą izotopową
 - " I4. Pomiar radioaktywności cieczy
 - " I5. Pomiary radiometryczne i dozymetryczne
-

(Laboratorium Wydziału Automatyki i Informatyki)

Spis treści książki prof. Ryszarda HAGLA pt. "Miernictwo dynamiczne".
Warszawa 1975, PWT

Przedmowa prof. Artura METALA

PRZETWORNIKI I UKŁADY POMIAROWE

1. Ogólna charakterystyka pomiarów, przetworników i sygnałów pomiarowych
2. Statyczne właściwości przetworników pomiarowych
3. Ogólny model matematyczny przetworników pomiarowych
4. Właściwości dynamiczne podstawowych przetworników pomiarowych nieoscylacyjnych
5. Właściwości podstawowych przetworników pomiarowych oscylacyjnych
6. Dobór tłumienia przetworników pomiarowych i korelacja charakterystyk dynamicznych
7. Oddziaływanie przetworników pomiarowych na źródła informacji

SYGNAŁY

8. Sygnały niemodulowane
9. Sygnały modulowane
10. Przesyłanie sygnałów na odległość
11. Porównywanie sygnałów - korelacja
12. Charakterystyka sygnałów stochastycznych

TECHNIKI POMIAROWE

13. Pomiarów charakterystyk dynamicznych
14. Pomiarów widma częstotliwości
15. Pomiarów funkcji korelacji
16. Pomiarów procesów stochastycznych
17. Rejestracja pomiarów

Z a ł ą c z n i k 5

Spis treści skryptu : "Ćwiczenia laboratoryjne z miernictwa wielkości nieselektrycznych metodami elektrycznymi" - Wyd.III poprawione.

Pod red. Józefa PARCHAŃSKIEGO. Gliwice 1981.

Opracowali : M.Bojarska, A.Grabowiecka, R.Grzybowski, R.Hagel, J.Jakubiec, A.Lebiedzki, A.Łatka, M.Miłek, J.Parchański, O.Pasecka, T.Skubis

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

- Ćwiczenie 1. Pomiar temperatury
" 2. Pomiar krótkich czasów
" 3. Pomiary tensometryczne
" 4. Badanie przetworników indukcyjnościowych
" 5. Badanie przetworników pojemnościowych
" 6. Badanie łączy selsynowych wskaźnikowych
" 7. Badanie łączy selsynowych transformatorowych
" 8. Badanie statycznych i dynamicznych własności układu nadążnego
" 9. Badanie przetworników magnetosprężystych
" 10. Pomiary momentu skręcającego
" 11. Pomiary prędkości obrotowej
" 12. Pomiary parametrów drgań mechanicznych
" 13. Pomiary natężenia przepływu powietrza
" 14. Pomiary wilgotności
" 15. Pomiary przemieszczeń kątowych
" 16. Badanie przetworników na przykładzie równoważni prądowej
" 17. Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w pomiarach wielkości fizycznych
" 18. Badanie przetworników piezoelektrycznych
-

(Laboratorium Wydziału Elektrycznego)

Spis treści skryptu (główne punkty): "Laboratorium Miernictwa Ciepłego",
Wydanie II poprawione i uzupełnione. Pod red. Czesława GRACZYKA,
Gliwice 1981. Opracowali: O. Bereźnioki, S. Kopeć, A. Markowski, T. Michal-
ski, Z. Moyszeowicz, S. Pitukko, C. Świerczyński, T. Wojakowski

C z ę ś ć I

1. Ogólne wiadomości o przyrządach i pomiarach

Informacja o miernictwie. Jednostki równania i równoważniki.
Pojęcia, błędy i metody pomiarowe. Rachunek prawdopodobieństwa.
Niezupełność przyrządów pomiarowych. Opracowanie wyników pomiarowych
Podział przyrządów pomiarowych.

2. Pomiary ciśnień

Pojęcia wstępne. Ciśnieniomierze cieczowe. Ciśnieniomierze wagowe.
Ciśnieniomierze sprężyste. Ciśnieniomierze kompresyjne. Elektryczne
przetworniki ciśnienia. Uniwersalne pneumatyczne przetworniki ciś-
nienia. Warunki zabudowania ciśnieniomierzy. Sprawdzanie ciśnienio-
mierzy.

3. Pomiary temperatury

Skala temperatur. Podział przyrządów do pomiaru temperatury. Termo-
metry dylatacyjne. Termometry manometryczne. Termometry oporowe.
Termometry termoelektryczne. Pircmetry promieniste. Błędy pomiarów
temperatury. Sprawdzanie przyrządów pomiaru temperatury.

4. Pomiary paliw

Skład paliw stałych. Analiza wstępna paliw. Analiza elementarna.
Ciepło reakcji spalania

5. Pomiary procesu spalania

Proces spalania. Chemiczne analizatory laboratoryjne. Analizatory
samoczynne. Kontrola jakości spalania. Chromatografia gazowa.

C z ę ś ć II

6. Pomiar masy i objętości oraz strumienia masy i objętości.
Pojęcia wstępne. Pomiar masy. Pomiar objętości. Pomiar strumienia
masy i objętości płynów

7. Pomiar mocy

Metody pomiaru mocy. Nieniszczące pomiary mocy. Metody specjalne.
Pomiar prędkości obrotowej.

8. Pomiary różne

Pomiar jakości wody i pary. Wilgoć i wilgotność gazów. Zapylenie
gazów. Badanie smarów.

9. Przekazywanie na odległość

Systemy telemetryczne o małym zasięgu. Złożone układy przetwarzania. Systemy telemetryczne o dalekim zasięgu.

10. Pomiary wielkości elektrycznych

Jednostki elektryczne. Elektryczne przyrządy pomiarowe. Elektryczne układy pomiarowe. Uniwersalne przyrządy pomiarowe.

Wykaz ćwiczeń wg programu studiów. Semestr V

- Ćwiczenie M-I. Technika mierzenia i błędy pomiaru
" M-II. Pomiar mocy
" M-III. Pomiar temperatury
" M-IV. Pomiar ciśnień
" M-V. Pomiar strumienia mocy
" M-VI. Pomiar wilgotności gazów
" M-VII. Pomiar składu spalin
" M-VIII. Pomiar wartości opałowej gazów
" M-IX. Przepływomierze sumujące zwężkowe
" M-X. Uniwersalne mierniki cyfrowe i zapisujące

Semestr VI

M.Iin.:

- Ćwiczenie PM-I. Projektowanie aparatury kontrolno-pomiarowej
" PM-X. Analiza gazów przemysłowych