ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: ELEKTRYKA z. 27 Nr kol. 274

RYSZARD HAGEL, MIECZYSŁAW PLUCIŃSKI

Katedra Technologii i Metrologii Elektrycznej

TENDENCJE ROZWOJOWE I ROLA MIERNICTWA W NAUCE I TECHNICE

Motto:

Nie ma pomiarów bez teorii
- nie ma teorii bez pomiarów

P.K. Stein

Streszczenie. W artykule omówiono rolę metrologii i jej tendencje rozwojowe w nauce i w produkcji. Podkreślono potrzebę automatyzacji pomiarów i związaną z tym konieczność rozwijania miernictwa cyfrowego jak i miniaturyzacji elementów pomiarowych. Podano przykłady liczbowe aktualnych możliwości pomiarowych. W konkluzji uzasadniono, że współczesne miernictwo stanowi jedną z samodzielnych nauk podstawowych.

Rolą metrologii w nauce i w produkcji

Techniczny rozwój ludzkości zmierza co najmniej od wieku, za stale narastającym tempem do dwóch celów:

zaspokojenia wzrastających potrzeb energii i

zaspokojenia gwałtownie rosnących potrzeb informacji.

Obydwa zapotrzebowania energii i informacji, rosną według krzywej wykładniczej, a granicy ich wzrostu nie można obecnie przewidzieć, nawet w przybliżeniu. Przy czym w grę wchodzi nie tylko zaspokojenie rosnących potrzeb ilościowych, lecz także wzrastają stale wymagania stawiane jakości.

Człowiek poznaje świat - uzyskuje o nim informacje zjawisk fizycznych, które prawie zawsze przybierają formę pomiaru różnych wielkości, charakteryzujących każde ciało lub zjawisko. Obserwacje można podzielić na pomiary dokładne dostarczające danych ilościowych, obiektywnych, wyrażonych w liczbach oraz mało dokładne ograniczające się do stwierdzeń natury jakościowej.

Ze względu na ilościowe przedstawienie wyników, jednoznaczność i obiektywność wyników oraz możliwość formalnego oszacowania niedokładności i przypadkowości wyników pomiarów - miernictwo stanowi podstawę wszystkich nauk doświadczalnych. Wyniki naukowe mają bowiem wartość jedynie wówczas, gdy są doświadczalnie sprawdzalne i porównywalne, czego nie można dokonać bez ilościowego i obiektywnego ujęcia danych otrzymanych w wyniku obserwacji.
Analizą i syntezą wyników obserwacji, w zakresie materii martwej, zajmuje się fizyka. Natomiast metodyką wykonywania pomiarów i ustaleniem stopnia zgodności otrzymanych danych w odniesieniu do nieosiągalnego rzeczywistego przebiegu zjawisk zajmują się nauki informacyjne i metrologia, czyli nauka o pomiarach.

Podobnie jak dla nauki - tak i dla techniki - pomiar ma decydujące znaczenie.

Znaczenie gospodarcze miernictwa uwidacznia się wyraźnie, gdy uwzględni się ilość pomiarów wykonywanych bieżąco. Analiza amerykańskiego Bureau of Standards wykazuje, że w USA wykonuje się dziennie ok. 20.10^9 pojedynczych pomiarów, przy użyciu przyrządów o wartości ok. 25.10^9 dolarów. Korzyści ocenia się na $4,5.10^9$ dolarów rocznie.

Znaczenie miernictwa w innych wysoko uprzemysłowionych krajach jest podobne i świadczy o znaczeniu metrologii dla gospodarki narodowej.

Nie zawsze zdajemy sobie sprawę z tego, jaka ścisła istnieje korelacja między postępem technicznym a rozwojem miernictwa. Można

stwierdzić, że postęp techniczny nie jest możliwy, jeżeli nie towarzyszy mu podniesienie dokładności pomiarów i skrócenie czasu potrzebnego do ich wykonania.

Rozwój produkcji przemysłowej w XIX w. wymagał opracowania nowych narzędzi pomiarowych. Rozwój produkcji masowej w początkach XX w. spowodował rozwój produkcji przyrządów pomiarowych i wywołał koniunkturę dla miernictwa długości jako wynik wzrostu wymagań dotyczących pomiarów wymiarów geometrycznych. Wraz z rozwojem elektryfikacji przemysłu nastąpił rozwój miernictwa elektrycznego. Gdy przed 20 laty rozpoczął się rozwój automatyzacji w przemyśle towarzyszył mu również niespotykany dotąd rozwój miernictwa. Jako przykład wzrostu wymagań stawianych miernictwu niech posłużą następujące fakty:

- wymagania dotyczące dokładności pomiarów wymiarów geometrycznych zostały powiększone w ciągu stulecia tysiąckrotnie;
- w ostatnich 25 latach prędkość pojazdów latających wzrosła 10^2 razy;
- ilość informacji przenoszonych na jednym nośniku informacji wzrosła 10^3 razy,
- czas potrzebny do wypracowania rozstrzygnięcia logicznego "tak-nie" zmalał 10^7 razy i obecnie wynosi 1 n s.

Automatyzacja produkcji, która obecnie przeżywa burzliwy rozwój może zapewnić obniżenie kosztów produkcji, poprawę jakości i wzrost wydajności. Nie można jednak automatyzować procesu przed opanowaniem udoskonalonych metod pomiaru, zapewniających nie tylko dostateczną dokładność statyczną lecz spełniających również wysokie wymagania stawiane dynamicznym własnościom przetworników przy pomiarach wielkości szybkozmiennych.

O skuteczności zarządzania nowoczesnym zakładem produkcyjnym decyduje w znacznym stopniu sposób rozwiązania problemu planowania

zbierania i opracowywania danych oraz przekazywania decyzji do urządzeń wykonawczych. Szybkozmienny strumień materiału i informacji wymaga nowoczesnych sposobów dostarczania kierownictwu właściwych danych, stanowiących podstawę do podejmowania decyzji. Zadania te są rozwiązywane obecnie przy pomocy maszyn matematycznych. Jednak ich działanie i wypracowywane decyzje zależą od niezawodności i dokładności układów pomiarowych, w skład których wchodzą czujniki pomiarowe, układy przetwarzania informacji i kanały przenoszenia. Rozwój maszyn liczących wyprzedził opracowanie i produkcję niezawodnych czujników pomiarowych dla niektórych gałęzi przemysłu (np. hutnictwa).

Podane przykłady nie wyczerpują zadań, które spełnia miernictwo w przemyśle. W Polsce, w kraju rozbudowującym wszechstronnie swój przemysł, rola miernictwa jest jeszcze ważniejsza niż w krajach o wyrobionej tradycji przemysłowej, ponieważ chodzi nie tylko o stworzenie odpowiedniej bazy przyrządowej, lecz także o wyrobienie i wpojenie właściwego podejścia do zagadnień pomiarowych, w szerokich kręgach inżynierów i techników różnych specjalności.

Automatyzacja pomiarów

Automatyzacja procesów produkcyjnych prowadzi do automatyzacji pomiarów, polegającej na dokonaniu odczytu wyniku pomiaru niezależnie od obserwatora, zarejestrowaniu go i przetworzeniu w celu otrzymania danych koniecznych do kierowania procesem.

Cały szereg różnych zadań stawianych miernictwu przez współczesną naukę czy technikę nie może być rozwiązany bez automatyzacji procesu pomiarowego, głównie ze względu na wymaganą szybkość i dokładność wyników pomiarów.

Automatyzacja pomiarów jest uzasadniona i celowa zarówno ze względów technicznych jak i ekonomicznych, w przypadku masowych pomiarów produkcyjnych. W wyniku automatyzacji uzyskuje się zwiększe-

nie przepustowości stanowisk pomiarowych względnie możliwość centralnej rejestracji wszystkich danych procesu.

Automatyzacja pomiarów laboratoryjnych również jest celowa w tych przypadkach, w których uzyskuje się zwiększenie dokładności pomiaru. Automatyzacja jest konieczna jeżeli przebieg mierzonego zjawiska lub sama wielkość mierzona stwarza niebezpieczeństwo dla pomiarowca.

Obecnie są już produkowane urządzenia pomiarowe, zarówno analogowe jak i cyfrowe, w których zostały zautomatyzowane wszystkie podstawowe czynności wchodzące w zakres właściwego pomiaru. Urządzenia te są eksploatowane głównie w zakładach produkcyjnych do kontroli złożonych procesów technologicznych. Złożoność procesów, rozległość zakładów produkcyjnych i wzrost liczby kontrolowanych czynności sprawia, że nieodzowne stają się centralne ośrodki pomiarowe i obliczeniowe spełniające zadanie rejestracji i przetwarzania danych. Układy centralnej rejestracji i przetwarzania danych składają się z wyspecjalizowanych urządzeń pomiarowych i pomiarowo-liczących. Umożliwiają one automatyzację kontroli procesów produkcyjnych i stwarzają możliwość samoczynnego kierowania nimi. Wśród wielorakich zadań spełnianych przez te urządzenia warto przytoczyć kilka najważniejszych:

a) sygnalizacja odchyłek określonego parametru procesu poza ustalone przedziały,

b) okresowa rejestracja mierzonych parametrów,

c) zapewnienie wizualnej kontroli określonego parametru na żądanie obserwatora,

d) wytwarzanie sygnałów do kontroli procesu,

e) zabezpieczenie awaryjne aparatury pomiarowej i produkcyjnej.

Układy centralnej rejestracji i przetwarzania danych są bardzo złożone i trudno oddzielić je od układów automatycznej regulacji.

Istnieją również prostsze urządzenia stanowiące zcentralizowane stanowiska służące do pomiarów i rejestracji określonych parametrów mierzonych w różnych punktach kontrolnych procesu. Pracę takiego urządzenia steruje generator zegarowy.

Perspektywicznym rozwiązaniem automatycznych przyrządów pomiarowych są niewątpliwie elektroniczne przyrządy z odczytem cyfrowym, współpracujące z urządzeniami pomiarowymi, np. z drukarkami, perforatorami, urządzeniami do zapisu magnetycznego itp. Podstawowym przyrządem zestawu jest woltomierz cyfrowy. Ponadto w skład zestawu wchodzą: przełącznik kanałów, urządzenie alarmujące o przekroczeniu dopuszczalnych wartości oraz drukarka lub dziurkarka. Sygnały doprowadzane do stanowiska pochodzą z czujników pomiarowych wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. W przypadkach pomiarów takich wielkości jak temperatura, ciśnienie itp. przyrząd musi być wyposażony w układy linearyzujące charakterystyki przetworników. Jako orientacyjne dane można podać, że przy liczbie 100 kanałów, szybkość dokonywania pomiarów wynosi do 10 s, rozdzielczość 2,5 V, niedokładność 0,05%.

Miernictwo cyfrowe - miernictwo przyszłości

W każdej nieomal dziedzinie nauki i techniki jesteśmy obecnie świadkami stałego wypierania wskazówkowych przyrządów pomiarowych przez przyrządy cyfrowe.

Przyrządy wskazówkowe (analogowe) działają na zasadzie przetwarzania elektrycznej wielkości mierzonej na mechaniczne przemieszczenie ruchomej części przyrządu. Może to być przemieszczenie kątowe wskazówki, pisaka w rejestratorze lub obrót tarczy w liczniku energii elektrycznej, itp.

U podstaw działania przyrządów cyfrowych leży porównanie wielkości mierzonej z wzorcową i cyfrowe przedstawienie wyniku tego porównania.

Wprowadzenie cyfrowych maszyn matematycznych do automatyzacji wymaga dostarczenia danych pomiarowych w postaci cyfrowej. Funkcję tę spełniają cyfrowe przyrządy pomiarowe, które często są w tym przypadku nazywane przetwornikami analogowo-cyfrowymi. Różnice między przyrządami cyfrowymi i przetwornikami analogowo-cyfrowymi wynikają z różnych dziedzin ich zastosowania i decydują o pewnych różnicach konstrukcyjnych. Tak więc cyfrowy przyrząd pomiarowy jest układem całkowicie niezależnym, podczas gdy przetwornik analogowo-cyfrowy jest podzespołem złożonego systemu pomiarowego lub regulacyjnego, bez możliwości dokonania odczytu.

Najbardziej rozpowszechnione przyrządy cyfrowe są przeznaczone do pomiaru: napięcia, prądu, rezystancji, częstotliwości,fazy, jak również do pomiaru stosunku dwóch z wymienionych wielkości.

Głównymi zaletami przyrządów cyfrowych są: duże dokładności pomiaru, brak subiektywnego błędu odczytu wyniku, duża szybkość wykonywania pomiarów, znaczny stopień automatyzacji pomiarów, możliwość bezpośredniego wprowadzenia wyników pomiarów do cyfrowej maszyny matematycznej, możliwość przekazywania wyników pomiarów na odległość bez zmniejszenia ich dokładności. Natomiast do wad przyrządów cyfrowych trzeba zaliczyć: złożoność, duży koszt w porównaniu z przyrządami analogowymi.

Dużą dokładność przyrządów cyfrowych uzyskuje się dzięki bezpośredniemu porównywaniu wielkości mierzonej z wzorcową. Zmniejszenie błędów wynika również z zastosowania układów kompensacyjnych, w których stosuje się elementy dyskretne wykonywane z dużą dokładnością.

Przyrządy cyfrowe nie mają ograniczeń, wynikających ze skończonej długości podziałki przyrządów wychyłowych. Jeśli przyjmie się

zdolność rozdzielczą w pomiarach metodami odchyłowymi równą 0,1 mm (bez zastosowania specjalnych systemów optycznych), to do uzyskania błędu względnego odczytu 0,01% konieczna jest podziałka równomierna o długości 1000 mm.

Do określenia rozmiarów pola odczytowego przyrządu cyfrowego można posłużyć się zależnością

$$N = b^n - 1 \approx b^n$$

w której N oznacza pojemność pola odczytowego w systemie liczenia o podstawie b i liczbie znaków n.
Liczba znaków n należy od wymaganej dokładności pomiaru i może być wyznaczona z zależności

$$b^n = \frac{100}{\delta\%}$$

gdzie $\delta_{\%}$ - względny błąd pomiaru w procentach. Przyjmuje się, że błąd ten nie przekracza jednostki najmniej znaczącej wyniku pomiaru (jest więc błędem rozdzielczości przyrządu).

Rozwiązując zależność poprzednią względem n, otrzymuje się:

$$n = \frac{2 - \log \delta_{\%}}{\log b}$$

Przyjmując dziesiętny system liczenia (b = 10) oraz błąd względny pomiaru $\delta_{\%} = 0{,}01$ otrzymuje się n = 4.

Pojemność pola odczytowego powinna wynosić w tym przypadku nie mniej niż $N = 10^4$. Wynika stąd że przy szerokości jednego wskaźnika cyfrowego równej 25 mm, szerokość pola odczytowego wynosi 100 mm.

Biorąc pod uwagę rosnące wymagania odnośnie dokładności pomiarów (niedokładność 0,001%) i konieczną w tym przypadku długość ska-

li, widać wyraźnie korzyści wynikające z zastosowania przyrządów cyfrowych. Przyrząd wychyłowy, przy tej dokładności, wymagałby podziałki o długości 10 m.

W miarę wzrostu ilości różnorodnych pomiarów, operatorzy korzystający z tradycyjnych przyrządów, zmuszeni do uważnego śledzenia położenia wskazówek przyrządów odchyłowych, ulegliby szybko zmęczeniu. Pociągnęłoby to zwiększenie błędów subiektywnych odczytu. Cyfrowe przyrządy pomiarowe wolne są od tego typu błędów.

Szybkość dokonywania pomiarów przyrządów cyfrowych, a zwłaszcza przetworników analogowo-cyfrowych, wynika z ich zastosowań i może dochodzić do setek tysięcy, a nawet milionów pomiarów na sekundę.

Impedancja wejściowa woltomierzy cyfrowych powinna być duża. Wyznaczają ją zwykle dzielniki wejścia i wynosi ona 0,1 ÷ 10 MΩ. Niektóre woltomierze mają impedancję wejściową 1000 MΩ i więcej. Osiągnięcie tak dużych impedancji wejściowych jest możliwe dzięki stosowaniu specjalnych wzmacniaczy, kaskad wtórników lub kompensacyjnych metod pomiaru. Impedancje wejścia woltomierzy z przetworników napięcia zmiennego na stałe wynosi od 20 kΩ/V do 1 MΩ/V przy pojemności wejściowej 20÷40 pF.

Tendencje rozwojowe miernictwa

Rozwijający się nowoczesny przemysł i rozwój nauki stwarzają z jednej strony nowe możliwości dla rozwoju urządzeń pomiarowych, a z drugiej strony stawiają tym urządzeniom coraz trudniejsze zadania do wykonania.

Jako główne kierunki rozwojowe w miernictwie można podać:

- wykorzystanie nowych zjawisk fizycznych dotychczas nie stosowanych w technice pomiarowej (np. efekt Halla, rezonans jądrowy i inne),

- wprowadzanie nowych technik pomiarowych, szczególnie w zakresie miernictwa wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi,
- stworzenie nowych metod pomiarowych (metody statystyczne, pomiary korelacyjne),
- stosowanie nowych konstrukcji, nowych elementów (elementy półprzewodnikowe, obwody scalone itp.).

Przykładem charakterystycznym dla ostatnich lat jest zastąpienie dominujących dotychczas analogowych metod pomiarowych - metodami cyfrowymi i dalszy rozwój konstrukcji przyrządów cyfrowych.

Ze względu na możność zamiany licznych wielkości elektrycznych i nieelektrycznych na wielkości podstawowe takie jak napięcie i częstotliwość, pomiary tych wielkości nabierają szczególnego znaczenia. Pomiary częstotliwości są najdokładniejszymi pomiarami w metrologii współczesnej. Współczesne pomiary napięć stałych dokonywane są przyrządami o dużej czułości i dokładności. Dalsze zwiększenie dokładności w pomiarach stałoprądowych jest ograniczone głównie stabilnością i dokładnością wzorców. Postęp w zakresie pomiarów i częstotliwości uzyskano dzięki zastosowaniu metod cyfrowych.

Wśród przyrządów pomiarowych impedancji i admitancji na uwagę zasługuje rozwój grupy mostków transformatorowych, umożliwiających pomiary tych wielkości w bardzo szerokich granicach. Mostki tego typu mogą być równoważone bez zastosowania elementów elektromechanicznych. Automatyzacja obejmuje wybór zakresu, ustawienie przecinka dziesiętnego, wskazywanie jednostki i proces równoważenia.

Przykładowe dane mostka transformatorowego, produkcji firmy Wayne Kerr są następujące:
Zakresy pomiarowe: C: 0,002 pF ÷ $50.10^3 \mu$ F; G: 20 pS ÷ 500 S; L: 200 nH ÷ 5 MH; R: 2 mΩ - 500 MΩ. Niedokładność pomiaru 0,1%, a rozróżnialność 0,01%. Wynik pomiaru jest wskazywany w postaci liczby pięciocyfrowej.

Niezależnie od rozwoju cyfrowych metod i urządzeń pomiarowych, stosowane są układy analogowe do opracowywania i przetwarzania wyników pomiarowych. Duże możliwości w tym kierunku daje zapis badanych wielkości na taśmie magnetycznej i późniejsze przetwarzanie otrzymanych danych przy pomocy analogowej maszyny liczącej. Wielkości podstawowe dla procesu, np. prąd, napięcie, strumień magnetyczny i prędkość obrotowa (w przypadku regulowanego napędu elektrycznego), po wprowadzeniu na wejścia maszyny analogowej mogą służyć do obliczania wielkości pierwotnych, takich jak moc, moment i przyspieszenie, a w ogólnym przypadku do optymalizacji badanego procesu. Dzięki możliwości wielokrotnego odtwarzania danych pomiarowych uzyskuje się bardzo przydatną metodę badania i ulepszenie złożonych procesów.

Nowe konstrukcje woltomierzy cyfrowych pozwalają na dalsze zwiększenie dokładności, szybkości pomiarów i stopnia zautomatyzowania. Tak np. współczesne woltomierze kompensacyjne wyposażone są w układy umożliwiające płynną zmianę czułości. Układy te pozwalają zmierzyć bez straty dokładności wartość średnią napięcia zmieniającego się oraz ocenić amplitudę tych zmian. Przyrządy wyposażone są w układ automatycznego uruchamiania działający pod wpływem tylko dodatniej lub tylko ujemnej amplitudy napięcia niezrównoważenia. Układ ten umożliwia pomiary minimalnej lub maksymalnej wartości mierzonego napięcia w ciągu określonego czasu.

Zastosowanie indukcyjnych dzielników napięcia umożliwiło uzyskanie niedokładności pomiaru $\pm$ 0,001%. Ponieważ indukcyjne dzielniki napięcia umożliwiają uzyskanie podziału $1:10^7$, uzyskuje się możliwość budowy przyrządów dokładniejszych od najlepszych ogniw wzorcowych. Powoduje to konieczność badań nad opracowaniem nowych dokładniejszych wzorców napięcia.

W ostatnim okresie rozwinęła się produkcja przyrządów do pomiaru napięć zmiennych współpracujących z cyfrowymi woltomierzami prą-

du stałego. Przyrządy te pracują jako przetworniki napięcia zmiennego na napięcie stałe.

Ponieważ nie dysponuje się wzorcem napięcia przemiennego, odpowiadającym np. ogniwu Westona dla napięć stałych, dlatego dokładny pomiar wartości skutecznej napięcia przemiennego przeprowadza się porównując wartość mierzonego napięcia z wartością napięcia stałego wywołującego taki sam efekt cieplny. Błąd porównania napięcia przemiennego ze stałym nie przekracza rzędu ± 0,01% w zakresie częstotliwości 30 Hz do 10 kHz. Wadą metody jest stosunkowo mała szybkość działania.

W przypadku pomiarów napięć o małym współczynniku zniekształceń stosuje się przyrządy reagujące na wartość średnią. Przyrządy te mają niedokładność rzędu 0,025% w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 20 kHz. Czynione są próby zastosowania metod statystycznych do bardzo dokładnych pomiarów napięć odkształconych.

Można się spodziewać, w niedalekiej przyszłości, znacznego rozwoju przyrządów cyfrowych do pomiarów napięć stałych i zmiennych. Zmniejszenie niedokładności pomiarów do 0,001% i zwiększenie szybkości pomiarów do 1000 pomiarów/sekundę, dla przyrządów klasy 0,01% i do 10^5 pomiarów/sekundę dla przyrządów niższej klasy, jest realne.

Można również oczekiwać uwzględnienia zakresów częstotliwości przy pomiarach napięć zmiennych do 200 kHz.

Już obecnie produkowane są cyfrowe przyrządy uniwersalne. Ciekawym przykładem konstrukcji przyrządu uniwersalnego jest DIGITEST 500 francuskiej firmy Schneider. Wymiary jego są mniejsze od przeciętnego przyrządu uniwersalnego, posiada 17 podzakresów prądu stałego i zmiennego z możliwością zmiany znaku na 5 podzakresach niedokładność 0,5%, zasilanie bateryjne lub sieciowe, cena ok. 180 $. W mierniku tym zastosowano układy scalone. Układ ten to 3-dekadowy licznik pierścieniowy zbudowany z 475 tranzystorów mieszczących

się na płytce krzemu o wymiarach powierzchni 2,4 x 2,9 mm.Powszechnie uważa się, że ceny tych przyrządów cyfrowych osiągną w najbliższych latach poziom 100 dolarów.

Innym ciekawym rozwiązaniem jest mówiący woltomierz cyfrowy. Odczyt woltomierza jest wygłaszany przez wzbudzony głośnik. Zasada działania takiego przyrządu jest dość prosta: kolejność słów powstaje przez wybór odpowiednich nagranych odcinków taśmy magnetofonowej. Wybieranie jest sterowane przez ten sam układ logiczny, który decyduje o wyświetlaniu cyfr. Cena aktualna przyrządu ok. 1400 dolarów. Przewidywane zastosowanie przyrządu: pomiary bez możliwości ciągłej obserwacji, kontrola telefoniczna, pomoc dla ociemniałych.

Daleko posuniętą uniwersalność współczesnych przyrządów dobrze reprezentuje generator o częstotliwości od 0,0005 Hz do 1 MHz, o wybieranej formie sygnałów wyjściowych: sinusoida, prostokąt, trójkąt, zęby piły.

Niezależnie od tendencji osiągnięcie dużych dokładności pomiaru poszczególnych wielkości, dąży się do uzyskania możliwości pomiarów coraz mniejszych wartości mierzonych wielkości, często przy coraz większych częstotliwościach.

Zasadniczym problemem rozwojowym technologii współczesnych przyrządów pomiarowych jest powiększenie niezawodności. Zagadnienie niezawodności polega głównie na wprowadzeniu takich podzespołów i rozwijaniu konstrukcyjnych oraz procesów technologicznych, które by zapewniały dużą trwałość i niezmienność pracy przyrządów. Do celu tego dąży się między innymi przez wprowadzenie układów mikromodułowych i scalonych.

Era miniaturyzacji

Małe wymiary elementów półprzewodnikowych, niskie napięcia potrzebne do ich zasilania oraz mała moc strat, umożliwiły znaczną

miniaturyzację układów wchodzących w skład poszczególnych urządzeń elektronicznych, a w szczególności urządzeń pomiarowych. Zmniejszenie objętości rozpoczęto od zmniejszania wymiarów poszczególnych elementów obwodów. Pojawiły się miniaturowe oporniki, kondensatory i transformatory wykonane na wzór swych dużych poprzedników z podobnych materiałów, podobnymi metodami. Przy ich użyciu można było (w końcu lat pięćdziesiątych) zmieścić w 1 cm^3 do dziesięciu elementów. Była to jednak granica możliwości przy konwencjonalnym rozumieniu układu jako połączenie przewodami poszczególnych elementów.

Dalszy krok w tej dziedzinie umożliwia nowa technika wytwarzania układów elektronicznych, której szczególnie ciekawym osiągnięciem są półprzewodnikowe układy scalone. Nazwą tą określa się mikrostrukturę spełniającą określoną funkcję układową, w której pewna liczba elementów układu jest nierozłącznie związana konstrukcyjnie w ośrodku ciągłym lub na jego powierzchni. Układu wykonanego w ten sposób nie można rozłożyć na części składowe bez ich uszkodzenia, nie można go więc również ani zmienić ani naprawić. Układ scalony staje się pojedynczym niepodzielnym elementem elektronicznym, tak jak w technice klasycznej opornik,kondensator, dioda czy tranzystor.

Wytwarzane dzisiaj układy scalone charakteryzują się tym, że każdy element tradycyjny ma swój odpowiednik. Przy tak wytworzonych układach uzyskuje się obecnie od tysiąca do dziesięciu tysięcy elementów w jednym cm^3.

Dążenie do miniaturyzacji ma szerokie uzasadnienie. Najważniejszym jest fakt zwiększenia niezawodności działania układów przez zredukowanie dużej liczby połączeń. Małe wymiary konstrukcji pozwalają na zwielokrotnienie elementów w tych urządzeniach, którym stawiane są wysokie wymagania niezawodności. Układ dublujący włącza się automatycznie po uszkodzeniu układu pracującego.

Stosowanie nowej techniki jest także ekonomiczne. Zmniejszenie objętości urządzenia o 1 cm^3 lub masy o 1 g daje w przypadku aparatury przewoźnej ok. 0,01 dolara oszczędności, w urządzeniach lotniczych 1 dolara, natomiast w przypadku sprzętu rakietowego oszczędności wahają się w granicach od 10 do 500 dolarów.

Następnym argumentem za zmniejszeniem wymiarów i masy jest nowa dziedzina zastosowań, mianowicie technika protez, zastępujących naturalne, niesprawne organy.

Realizacja monolityczna pozwala na stabilizację temperatury bryłki krzemu przez wykonanie w tej bryłce stabilizatora temperatury. Bryłka półprzewodnika utrzymywana jest w stałej temperaturze (np. + 125°C) przez układ monolityczny (regulator i grzejnik) zaopatrzona w czujnik temperatury (złącze p-n). Na tej konstrukcji oparte są wzmacniacze, posiadające niezwykle niski poziom prądów wejściowych - 12 nA. Dryft napięcia wejściowego jest rzędu 0,6μV/1°C. Dryft prądu wejściowego jest rzędu 15 pA/1°C.

Wśród wielu zalet muszą być i wady. Najpoważniejszą z nich jest brak uniwersalności układów scalonych. Układy te mogą być stosowane jedynie w tych urządzeniach, dla których zostały zbudowane. Również wartości elementów rezystancyjnych, kapacytancyjnych, a przede wszystkim indukcyjności są bardzo ograniczone. Dlatego układy scalone w wielu przypadkach pod względem układowym są dalekie od rozwiązań optymalnych.

Rosnąca produkcja układów scalonych powoduje olbrzymi spadek cen. Dla przykładu, popularny wzmacniacz operacyjny, który w 1965 roku kosztował ok. 100 dolarów, obecnie w wersji przemysłowej kosztuje około 2 dolary.

Układy elektroniczne czynne ulegają więc szybkiej miniaturyzacji i dla osiągnięcia efektu ogólnego staje się koniecznością zmniejszenie wymiarów innych elementów takich jak: przełączniki, potencjometry, łączówki, kondensatory itp.

Miernictwo współczesne - nauka podstawowa

Ilość informacji uzyskiwanych o przedmiocie poznania uzyskuje w pewnym momencie stopień wymagający opracowania ogólnej teoretycznej podstawy. Bez tej ogólnej podstawy wiele powstających nowych problemów nie daje się rozwiązać lub można je rozwiązać tylko przy użyciu dużego nakładu środków.

Odnośnie miernictwa stwierdza się, że ogromnie wzrosła ilość wiadomości o zastosowaniach w różnych dziedzinach konstrukcji urządzeń pomiarowych i metodach pomiarowych. Miernictwo jest powszechnie stosowane we wszystkich naukach przyrodniczych i pokrewnych a w szczególności technicznych.

Miernictwo jest samodzielną nauką o prawach wykonywania obiektywnych obserwacji. Metrologia zajmuje zatem podobne stanowisko w zakresie uzyskiwania informacji o zjawiskach jak fizyka w określeniu istoty tych zjawisk, co matematyka w procesie logicznego rozumowania i przetwarzania informacji.

Ponadto poszczególne działy miernictwa użytkowane są jako techniki robocze w każdej dziedzinie nauk doświadczalnych, podobnie jak poszczególne działy matematyki.
Dotychczasowy podział na technikę pomiarów mechanicznych, elektrycznych, cieplnych i innych nie może być utrzymany w przyszłości. W wyniku wąskiego rozpatrywania zagadnień pomiarowych wspólne cechy techniki zostały ukryte za zastosowaniami. Takie ujęcie prowadziło do pojmowania miernictwa jako zbioru technik pomocniczych innych nauk doświadczalnych.

Obecnie zarówno teoria pomiarów jak i jej zastosowanie tj. technika pomiarów wymagają uogólnienia i abstrakcyjnego przedstawienia podstawowych, ogólnie obowiązujących praw metrologicznych. Nauka o pomiarach istnieje samodzielnie, niezależnie od jej zastosowań praktycznych. Zadaniem jej jest poszukiwanie ogólnych prawidłowości uzyskiwania i przekazywania informacji, określenie warunków

realizowalności procesów pomiarowych. W tym ujęciu nauka o pomiarach stanowi część szerokiej podstawy teoretycznej zwanej teorią informacji.

Wynikająca z tej podstawy teoretycznej technika zastosowań obejmuje opracowanie wytycznych do projektowania, konstrukcji i realizacji metod i systemów pomiarowych.

Wnioski końcowe

Jest rzeczą stwierdzoną, że postęp w każdej dziedzinie nauki i techniki zależy w dużym stopniu od możliwości dokonywania dokładnych pomiarów.

Rozwój techniki pomiarowej musi wyprzedzać rozwój innych dziedzin nauki i techniki, ponieważ ten ostatni uwarunkowany jest zastosowaniem nowoczesnych metod pomiarowych oraz metod przetwarzania i przesyłania informacji. Rozwijający się nowoczesny przemysł i wielki rozwój nauki decydują o tym, że nie można dłużej ograniczać się jedynie do stosowania i ulepszania dotychczasowej aparatury pomiarowej, lecz trzeba szukać, badać i stosować nowe techniki, metody pomiarowe oraz nowe konstrukcje oparte na szerokiej podstawie wszystkich zjawisk fizycznych nadających się do wykorzystania.

Głównymi cechami nowych kierunków rozwojowych w miernictwie powinno być dążenie do rozszerzenia granic mierzonych wielkości oraz przybliżenie wyniku do ideału wynikającego z definicji procesu pomiarowego.

W zakresie opracowania i produkcji nowych, krajowych przyrządów pomiarowych za najpilniejsze można uznać opracowanie względnie tanich przyrządów cyfrowych do pomiarów napięć i prądów stałych i zmiennych oraz częstotliwości i czasu. Przyrządy cyfrowe do pomiarów napięć i prądów stałych powinny obejmować zakres od 1μ V do ok. 200 V, przy niedokładności pomiaru 0,01%. Przyrządy do pomiarów

napięć zmiennych powinny obejmować co najmniej zakres od 1 mV do 500 V, przy niedokładności pomiaru 0,05%.

Niezbędny jest również rozwój grupy źródeł sygnałów, tj. generatorów RC i generatorów mocy, a szczególnie generatorów bardzo małej częstotliwości i generatorów impulsów.

Rozwój aparatury pomiarowej na wysokim poziomie technicznym, niezawodnej i o wysokim standardzie jest uzależniony od posiadania wysokiej klasy podzespołów takich jak tranzystory krzemowe, układy scalone, mikroprzełączniki, opory precyzyjne, kondensatory wysokiej klasy i inne.

Metrologia odgrywa pierwszorzędną rolę nie tylko we wszystkich technicznych pracach naukowo-badawczych lecz również bezpośrednio w produkcji przemysłowej, energii, surowców i wyrobów. W ten sposób jest ona jednym z głównych czynników decydujących o postępie technicznym.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И РОЛЬ МЕТРОЛОГИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Р е з ю м е

В статьи рассмотрена роль метрологии и её тенденции развития в науке и производстве. Подчёркнуто потребность автоматизации измерений и связанную с этим необходимость развития цифровои метрологии, как и миниатуризации измерительных элементов. Приведены цифровые примеры актуальных измерительных возможностей. В заключении доказано, что современная метрология стала одной из самостоятельных основных наук.

DEVELOPMENT TENDENCIES AND IMPORTANCE OF MEASURMENTS IN INDUSTRY AND SCIENCE

S u m m a r y

The paper deals with measurments, development in measurment systems, instruments and measurning methods.

The importance of measurments in industry and science is described. The tendency to automation, the need of developing digital methods and of minimizing the elements is discussed. Numerical examples demonstrate the possibilities and the precision of measurement at the present time.

In conclusion the authors are of the opinion that the measurements belong now to one of the basic sciences.