

EUSTACHY LAZARSKI
Katedra Fizyki A

WYBRANE KONSTRUKCJE SPEKTROMETRÓW MASOWYCH
I ICH PRZYDATNOŚĆ
W AUTOMATYCZNEJ KONTROLI PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

W automatyzacji ciągłych procesów przemysłowych szczególna rola przypada kontroli jakości produktu w jego różnych stadiach produkcji. Jednym z ważniejszych problemów w tej dziedzinie jest automatyczna analiza mieszanin gazowych. Zalety spektrometrii masowej oraz wszechstronny jej rozwój zwłaszcza w ostatnim dziesięcioleciu, skłaniają do wykorzystania tej metody dla ciągłej kontroli i regulacji procesów przemysłowych.

Widoczne od szeregu lat tendencje do powiększania zdolności rozdzielczej oraz uproszczenia konstrukcji spektrometru masowego i uczynienia zeń ogólnie dostępnego przyrządu laboratoryjnego, skłoniły konstruktorów do poszukiwania nowych metod selekcji jonów. W ten sposób powstało szereg udanych rozwiązań konstrukcyjnych, zasługujących na uwagę ze względu na korzyści jakie może dać zastosowanie ich w technice.

1. Budowa i zasada działania spektrometrów masowych

Zasada spektrometrii masowej polega na jakościowej i ilościowej analizie jonów wytworzonych z obojętnych cząstek badanego gazu lub pary i rozdzielonych podług mas w analizatorze próżniowym. Wielkość próżni zależy od długości drogi jonu w analizatorze, która musi być mniejsza od drogi swobodnej cząstek, aby nie występowały zderzenia.

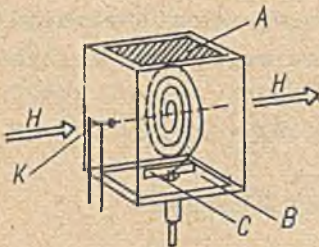
O własnościach spektrometru masowego i możliwościach wykorzystania decyduje konstrukcja analizatora. Ze względu na spo-

sób selekcji wiązek jonowych można podzielić obecnie znane spektrometry na przyrządy o działaniu statycznym i dynamicznym.

W przyrządach pierwszej grupy rozdział jonów według ich mas właściwych (stosunku masy jonu do ładunku) zachodzi w stałych polach elektrycznych i magnetycznych, a pełne widmo masowe wytworzonych jonów uzyskuje się przez powolną zmianę natężenia tych pól. Należą tu w pierwszym rzędzie klasyczne już dzisiaj spektrometry magnetyczne [1], w których selekcja jonów o różnych masach właściwych następuje w wyniku różnego ugięcia ich torów przebiegających prostopadle do linii pola magnetycznego i elektrycznego.

W przyrządach o działaniu dynamicznym rozdział jonów następuje na ogół w szybkozmiennych polach elektrycznych na skutek różnicy czasów przelotu lub częstotliwości drgań własnych, zależnych od masy jonu. Ze względu na prostotę konstrukcji, małe wymiary i krótki czas dokonywanych analiz, przyrządy tej grupy wydają się bardziej odpowiednie dla zastosowań technicznych. Budowę kilku takich przyrządów opisano poniżej.

a) Omegatron [2, 3] działa na zasadzie rezonansu jonów w zmiennym polu elektrycznym. Zasadę działania przedstawia rys. 1.



Rys. 1

Elektrony emitowane przez katodę K przyspieszone stałym polem elektrycznym i zogniskowane w polu magnetycznym wpadają do wnętrza przestrzeni ograniczonej układem elektrod i jonizują napotkane cząstki gazu. W ten sposób powstają jony, posiadające energię ruchu cieplnego poruszają się po liniach śrubowych o osiach równoległych do linii pola magnetycznego H z częstotliwością

$$f = \frac{\partial H}{2\pi m}$$

gdzie:

- e - ładunek jonu,
- m - masa jonu,
- H - natężenie pola magnetycznego.

Dla stałego natężenia pola magnetycznego i cząstek jednokrotnie zjonizowanych, częstotliwość obiegu zależy tylko od masy jonu.

Napięcie wysokiej częstotliwości doprowadzone do elektrod A i B wytwarza między nimi zmienne pole elektryczne prostopadłe do linii pola magnetycznego.

Gdy częstotliwość własna jonów jest równa częstotliwości pola elektrycznego to znajdują się one w rezonansie a ich energia i promień toru wzrasta. Na kolektorze C zbierane są jony, których promień toru wzrośnie do odległości kolektora od wiązki elektronów. Pełne widmo masowe uzyskuje się przez ciągłą zmianę częstotliwości przyłożonego napięcia. Zdolność rozdzielcza rozumiana jako stosunek masy mierzonej do szerokości linii spektralnej wyrażonej w jednostkach masowych, maleje wraz ze wzrostem masy

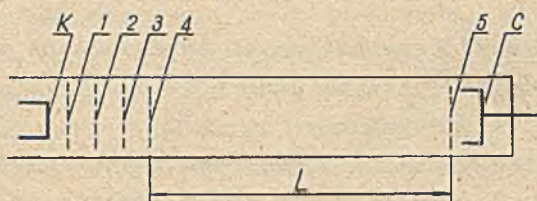
$$\frac{m}{\Delta m} = \frac{e R_{mx} H^2}{U_0 \cdot m}$$

gdzie R_{mx} - maksymalny promień toru jonu, U_0 - napięcie wysokiej częstotliwości. Dla $m < 50$ nie trudno uzyskać jeszcze całkowite rozdzielenie mas.

Wymiary zespołu elektrod przeciętnego omegatronu wynoszą około 2x2x2 cm. Pole magnetyczne rzędu kilku tysięcy oerstedów może być wytworzone przy pomocy magnesu trwałego o wadze kilkunastu kilogramów. Przy natężeniu wiązki elektronów rzędu 10 μ A czułość wyrażona natężeniem wiązki jonowej w stosunku do ciśnienia w źródle jonów wynosi 10^{-4} A/Tor. Zakres ciśnień roboczych leży poniżej 10^{-5} Tor. Natężenie pola elektrycznego nie przekracza 1 V/cm, a częstotliwość sięga kilku MHz.

Opis konstrukcji i parametrów omegatronów wykonanych w kraju przez Przemysłowy Instytut Elektroniki podał Masica [4, 5].

b) Spektrometr impulsowy [6, 7] działa na zasadzie różnicy czasów przelotu jonów o różnych masach, od źródła jonów do elektrody zbiorczej. Budowę takiego spektrometru przedstawia schematycznie rys. 2. Elektrony emitowane przez katodę K jonizują gaz w przestrzeni ograniczonej siatkami 1 i 2. Jony są



Rys. 2

wyciągane ze źródła ujemnymi impulsami napięcia doprowadzonymi do siatki 2 i następnie przyspieszane do jednakowej energii różnicą potencjałów między siatkami 3 i 4. Przestrzeń ekwipotencjalną między siatkami 4 i 5 jony przebiegają ze stałą prędkością w czasie

$$t = L \sqrt{\frac{m}{2eU}}$$

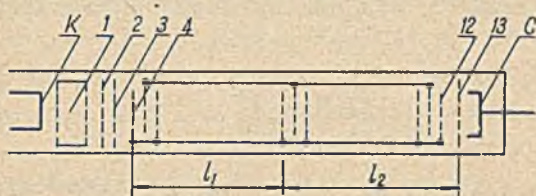
przy czym L oznacza odległość między siatkami 4 i 5, U - napięcie przyspieszające jony. Z powyższej równości wynika że jony będą dochodzić do kolektora C w różnych czasach, w zależności od ich mas właściwych i wytworzą na oporze kolektora szereg kolejnych impulsów napięcia. Czas kolejno po sobie występujących impulsów jest proporcjonalny do różnicy mas jonów wywołujących te impulsy.

Ważną cechą przyrządu zwłaszcza w badaniach dynamiki procesów szybkozmiennych jest to, że pełne widmo masowe uzyskuje się za pomocą jonów wytworzonych w jednej i tej samej chwili.

Zdolność rozdzielczą rzędu 100 nietrudno uzyskać. Zależy ona zarówno od konstrukcji samego spektrometru, jak również od dokładności aparatury elektronicznej zasilającej i pomiaro-

wej. Szczegółową analizę czynników ograniczających zdolność rozdzielczą przeprowadził Agiszew i Jonow [8]. W tej samej publikacji opisano spektrograf masowy zmontowany w obudowie cylindrycznej o średnicy 6 cm i długości 50 cm, który posiadał zdolność rozdzielczą 50-60. Długość impulsów sterujących wynosiła $\sim 5 \mu\text{sec}$ przy częstotliwości powtarzania 10^4 1/sec. Widmo masowe uzyskiwano na ekranie oscylografu.

c) Topatron jest spektrometrem z podłużnym polem elektrycznym o częstotliwości radiowej [9, 10]. Jego schematyczną budowę przedstawia rys. 3. Wiązka elektronów emitowanych z ka-



Rys. 3

tody K jonizuje gaz w przestrzeni 1. Powstałe tam jony zostają wyciągnięte przez siatki 2 i 3 i przyspieszone w polu elektrycznym między tymi siatkami dostają się do analizatora złożonego z siatek 4-12. Analizator składa się z trzech stopni zawierających po trzy siatki rozmieszczone w równych odstępach. Wszystkie siatki znajdują się na potencjale przyspieszającym, a na siatki środkowe każdego stopnia jest przyłożone niewielkie napięcie wysokiej częstotliwości. Jony posiadające prędkości synchroniczne z częstotliwością napięcia zmiennego uzyskują po przejściu każdego stopnia maksymalny przyrost energii. Odległości między stopniami l_1 i l_2 są tak dobrane aby jony które uzyskują największe przyrosty energii wchodziły do każdego ze stopni przy tym samym kącie fazowym napięcia wysokiej częstotliwości. Przed kolektorem C umieszczona jest siatka hamująca 13 o takim potencjale aby mogły przez nią przejść tylko te jony które uzyskały największe przyrosty energii.

Warunek synchronizacji dla cząstek pojedynczo zjonizowanych podaje równanie

$$m = \frac{0,266 U}{s^2 \cdot f^2}$$

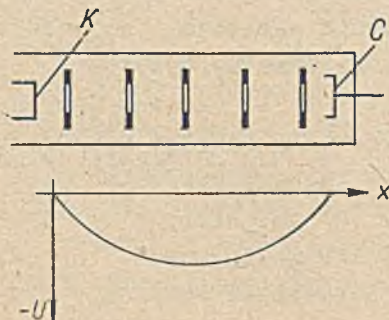
m - masa jonu w liczbach masowych, U - napięcie przyspieszające w woltach, s - odległość między siatkami stopnia w cm, f - częstotliwość napięcia zmiennego w MHz. Pełne widmo masowe uzyskuje się przez ciągłą zmianę częstotliwości lub napięcia przyspieszającego.

Zdolność rozdzielcza tego spektrometru zależy głównie od konstrukcji przyrządu i stopnia wykorzystania wiązki jonowej

$$\frac{m}{\Delta m} = \frac{N}{4} \frac{J_0}{J_c}$$

J_0 oznacza tu początkowe natężenie wiązki jonów mierzonej masy, J_c - natężenie wiązki dochodzącej do kolektora, N - ilość okresów napięcia zmiennego w czasie których jony synchroniczne przechodzą całą długość analizatora. Uzyskiwane zdolności rozdzielcze nie przekraczają na ogół 100 przy czułości 10^{-5} A/Tor, i natężeniu wiązki elektronów 10 mA. Wymiary komory spektrometru wynoszą od kilkunastu centymetrów długości i kilku centymetrów średnicy.

d) Zasadę działania spektrometru z wiązką jonów drgającą w podłużnym polu elektrycznym przedstawia rys. 4, na którym po-



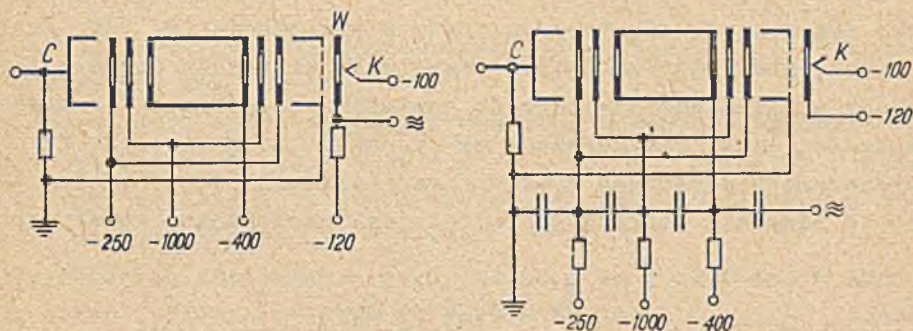
Rys. 4

dano także rozkład potencjału wzdłuż osi układu elektrod. Elektrody analizatora zasilane są ze źródła napięcia stałego w ten sposób aby rozkład napięcia w kierunku osi układu elektrod był w przybliżeniu paraboliczny. Jony gazu wprowadzone do takiego pola drgają wzdłuż jego osi tam i z powrotem z częstotliwością zależną od ich

mas właściwych. Ze względu na rozpraszające działanie składowej radialnej pola, wiązka jonów musi być stale uzupełniana ze źródła.

Selekcję jonów o określonej masie uzyskuje się dwiema metodami [11].

W farwitronie [12] wiązkę elektronów jonizujących, emitowanych przez katodę K moduluje się wysoką częstotliwością za pomocą specjalnej elektrody sterującej W (rys. 5a). Jony o określonej masie, których częstotliwość własna jest równa częstotliwości modulacji będą powstawać przy tym samym kącie fazowym drgań i w ten sposób utworzą znaczny ładunek przestrzenny drgający synchronicznie z napięciem modulującym. Synchronicznie drgająca chmura jonów indukuje w obwodzie kolektora C napięcie zmienne proporcjonalne do względnej ilości jonów synchronicznych w całkowitym ładunku przestrzennym.



Rys. 5

Palletron [13] zbudowany jest podobnie. Przy stałym natężeniu wiązki elektronów na stałe pole elektryczne nałożone jest pole wysokiej częstotliwości o małej amplitudzie. Dzięki temu drgająca chmura jonowa uzyskiwać będzie dodatkowe przyrosty energii wywołane działaniem pola zmiennego. Energia jonów drgających synchronicznie z polem zmiennym będzie wzrastać, a zatem wzrośnie też ich amplituda drgań. Dzięki temu tylko jony określonych mas mogą dojść do kolektora. Sposób zasilania elektrod palletronu pokazano na rys. 5b.

Ciągłe widmo masowe uzyskuje się w tych spektrometrach przez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego. Zależność masy mierzonej od częstotliwości dla parabolicznego rozkładu potencjału wyraża wzór

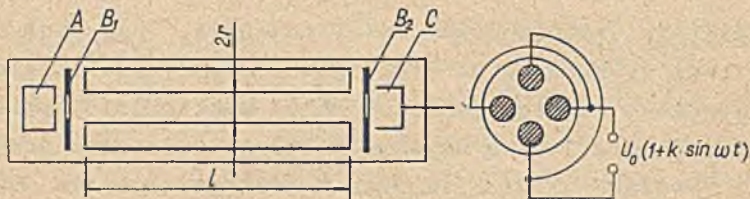
$$f = cU \sqrt{\frac{e}{m}}$$

przy czym U oznacza najwyższą wartość napięcia stałego, C jest stałą przyrządu.

Wadą tych spektrometrów jest pojawianie się linii masowych także przy częstotliwościach harmonicznych. Osiągalna zdolność rozdzielcza według Tretnera [12] wynosi około 30. Spektrometr przez niego wykonany posiadał długość pakietu elektrod 36 mm i był zasilany napięciem stałym 1000 V. Zakres ciśnień roboczych wynosił poniżej 10^{-4} Tora.

e) Filtr mas [14] pokazano schematycznie na rys. 6. Jony wytworzone w źródle A i przyspieszone w stałym polu elektrycznym przedostają się poprzez otwór w przesłonie B_1 do analizatora, który tworzą cztery równoległe elektrody prętowe. Elektrody analizatora zasilane są napięciem zmiennym z nałożoną składową stałą jak pokazano na rysunku. Do kolektora C ekranowanego od strony analizatora przesłoną B_2 dochodzą tylko te jony dla których spełniona jest następująca zależność:

$$m = 0,14 \frac{e}{r^2 f^2 U},$$



Rys. 6

w której przyjęto oznaczenie: e - ładunek jonu, r - promień pola elektrycznego, f - częstotliwość napięcia zmiennego, U - napięcie zmienne. Jony o innych masach posiadają rosnącą amplitudę drgań i nie dochodzą do kolektora gdyż są wyłapywane przez elektrody analizatora. Szczegółową analizę pracy filtru mas podał Paul, Reinhard i Zahn [15]. Widmo ciągłe uzyskuje się przez zmianę częstotliwości napięcia zmiennego lub równoczesną zmianę napięcia wysokiej częstotliwości i napięcia stałego przy zachowaniu ich wzajemnego stosunku

$$\frac{U_{\sim}}{U} = 5,96.$$

Przy stałej częstotliwości napięcia zmiennego szerokość linii widmowej może być niezmienna i równa

$$\Delta_m = 24,5 \frac{e U_B}{l^2 \cdot f^2}$$

gdzie U_B jest napięciem przyspieszającym jony, a l długością elektrod analizatora.

Szerokość linii widmowej równą jednostce masowej uzyskiwano w spektrometrze o długości elektrod $l = 18$ cm i średnicy pola $2r = 8$ mm. Czulość tego spektrometru wynosiła 10^{-5} A/Tor w zakresie ciśnień poniżej 10^{-3} Tora.

Najczęściej analizowane gazy lub pary są jonizowane w źródłach jonów z wiązką elektronów [1]. W analizie bardziej złożonych związków organicznych korzystniejsza bywa niekiedy metoda fotojonizacji za pomocą promieni ultrafioletowych [16, 17]. Uzyskiwane wówczas widmo masowe jest znacznie prostsze ze względu na mniejszą ilość linii dysocjacji.

Natężenie prądu jonów zbieranych na kolektorze mierzy się przy użyciu wzmacniaczy elektrometrycznych. Ostatnio coraz częściej kosztowne wzmacniacze elektrometryczne połączone z kolektorem jonów zastępuje się kryształem scyntylacyjnym i fotopowielaczem. Taki detektor rejestruje wtórne elektrony wybite wiązką jonową z płytki metalowej umieszczonej w miejsce

kolektora. W ten sposób uzyskuje się znaczną oszczędność i znikomą małą stałą czasową układu pomiarowego, przy równoczesnym wyeliminowaniu zjawiska "pełzania" zera występującego we wzmacniaczach prądu stałego.

2. Zasada spektrometrycznej analizy ilościowej

Jeżeli ciśnienie gazu w źródle jonów nie przekracza 10^{-4} Tora to natężenia prądów jonowych są proporcjonalne do koncentracji odpowiednich składników w źródle. Jeżeli ponadto zostaną dotrzymane warunki molekularnego dopływu gazu do źródła, to okaże się, że natężenia poszczególnych linii widmowych są proporcjonalne do ciśnień parcjalnych odpowiednich składników badanej mieszaniny gazowej.

Przy normalnie stosowanych energiach elektronów jonizujących (do 100 eV) oprócz prostej jonizacji występuje także dysocjacja molekuł i wskutek tego z jednego rodzaju cząstek powstają jony o różnych masach. Widma masowe różnych składników nakładają się na siebie addytywnie i dlatego dla wyznaczenia składu mieszaniny, na podstawie przeprowadzonej analizy widmowej, należy rozwiązać układ równań liniowych postaci:

$$I_i = \sum_{j=1}^{i=n} a_{ij} p_j$$

I_i - oznacza natężenie odpowiedniej linii widmowej, a_{ij} - jest współczynnikiem cechowania przyrządu, wyrażającym jego oszczędność dla danego składnika i masy i zależnym od konstrukcji spektrometru, energii i natężenia wiązki jonizującej oraz od temperatury w źródle jonów, p_j - oznacza szukane ciśnienie parcjalne składnika.

Rozwiązanie powyższego układu równań metodą Cramera dają układ rozwiązań

$$p_j = \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=n} b_{ij} I_i$$

w którym szukane ciśnienia parcjalne składników są wyrażone przez wartości natężeń linii widmowych I_i i odpowiednich współczynników b_{ij} zależnych od współczynników cechowania a_{ij} .

$$b_{ij} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta}$$

gdzie Δ jest wyznacznikiem charakterystycznym wyjściowego układu równań, natomiast Δ_{ij} jest podwyznacznikiem wyznacznika charakterystycznego przynależnym do i -tego wiersza i j -tej kolumny.

Linie masowe występujące w widmie pochodzą na ogół od jednego lub tylko niektórych składników mieszaniny gazowej, a więc wiele współczynników a_{ij} jest równych zeru i układ równań znacznie się upraszcza.

Ponieważ analiza gazu wymaga wyznaczenia względnej koncentracji poszczególnych składników, zatem zamiast mierzyć ciśnienie absolutne p_j wygodniej jest wyznaczać względne ciśnienia parcjalne składników

$$p_{wj} = \frac{p_j}{\sum_{j=1}^n p_j}$$

Przy szybko prowadzonych analizach cyklicznych wyniki pomiaru p_{wj} nie zależą od powolnych zmian ciśnienia i natężenia elektronów w źródle jonów gdyż można przyjąć, że wszystkie ciśnienia parcjalne p_j w ciągu jednego cyklu pracy są mierzone w tych samych warunkach pracy źródła jonów. Źródło nie wymaga zatem stabilizacji.

3. Ciągła analiza mieszanin gazowych

Ciągła analiza mieszanin gazowych wymaga cyklicznej pracy spektrometru masowego oraz automatycznego opracowywania wyników pomiaru. Dla otrzymania samoczynnego analizatora należy

wyposażyć spektrometr masowy w urządzenie programujące pracę i prosty układ liczący, który sterowany prądem kolektora jonów da na wyjściu sygnały proporcjonalne do ciśnień parcjalnych składników mieszaniny gazowej. Sygnały wyjściowe analizatora mogą być wykorzystane do sterowania przyrządów rejestrujących lub układu automatycznej regulacji procesów przemysłowych.

Powyżej opisane rozwiązania spektrometrów masowych spełniają większość wymagań stawianych spektrometrom przeznaczonym do ciągłej pracy w warunkach przemysłowych. Pod względem konstrukcyjnym cechuje je wyjątkowa prostota budowy i małe wymiary. Stosunkowo niska próżnia, wymagana dla poprawnej pracy analizatora oraz minimalne ilości gazu doprowadzanego pozwala na stosowanie niewielkich i prostych układów próżniowych.

Do przeprowadzenia większości analiz wystarcza zdolność rozdzielcza rzędu 100. Niewielka zdolność rozdzielcza spektrometrów dynamicznych nie stanowi zatem przeszkody w budowie analizatorów.

Spektrometry dynamiczne posiadają na ogół lepsze wykorzystanie wiązki jonowej i dzięki temu uzyskują większą czułość prądową w stosunku do spektrometrów statycznych. Wprowadzenie zmiennych pól elektrycznych i wyeliminowanie dużych elektromagnesów stosowanych w spektrometrach statycznych umożliwiło uzyskanie pełnego widma masowego w bardzo krótkim czasie i dokonywanie szybkich analiz.

Zastosowanie spektrometrii masowej w kontroli procesów przemysłowych pozwoliło na dokonywanie pełnej analizy mieszaniny gazowej w bardzo krótkim czasie nie osiągalnym innymi metodami. Niejednokrotnie wykonanie analizy jest możliwe wyłącznie metodą spektrometryczną.

Czułość i dokładność analiz spektrometrycznych jest bardzo duża i zależy od ilości składników w mieszaninie.

Już od kilku lat spektrometry masowe są stosowane w przemyśle w Stanach Zjednoczonych, Związku Radzieckim i Europie Zachodniej, do przeprowadzania analiz kontrolnych oraz ciągłej kontroli i regulacji pojedynczych składników gazu. Uzyskane doświadczenie i efekty ekonomiczne wskazują na pełną przydatność

tych urządzeń w przemyśle i zachęcają do wprowadzania ich na szerszą skalę. Wprawdzie nie można jeszcze wskazać na najbardziej odpowiednie rozwiązanie spektrometrycznego analizatora gazu, gdyż o tym może decydować stabilność i niezawodność pracy po dłuższym okresie eksploatacji, jednak w literaturze periodycznej spotyka się coraz częściej wzmianki o zastosowaniach dynamicznych spektrometrów masowych.

LITERATURA

- [1] Żuk Wł.: Spektrometria masowa, PWN, W-wa 1956.
- [2] Sommer H., Thomas H.A., Hipple J.A.: Phys. Rev. t.82, 697, (1951).
- [3] Berry C.E.: J. Appl. Phys., t.25, 28 (1954).
- [4] Masica B.: Prace PIE, Nr 1, 1960 r., str. 49.
- [5] Masica B.: Komunikat na XVIII zjazd Fizyków Polskich, Katowice 11-14. IX. 1963.
- [6] Stephens W.E.: Phys. Rev., t. 69, 691 (1946).
- [7] Cameron A.E., Eggers D.F.: Rev. Sci. Instr., t. 19, 605, (1948).
- [8] Agiszew E.J., Jonow N.J.: Żurnal techn. Fiz., t. 28, 1774, (1958).
- [9] Bennett W.H.: J. Appl. Phys., t. 21, 143 (1950).
- [10] Redhead P.A., Crowell C.R.: J. Appl. Phys. t. 24, 331 (1953).
- [11] Tretner W.: Z. Angev. Phys. t. 11, 395 (1959).
- [12] Schissel P.: J. Appl. Phys., t. 22, 680 (1951).
- [13] Valentini H.B.: Expl. Techn. Phys., t. 8, Nr 2, 65 (1960).

- [14] Paul W., Steinwedel H.: Z.f. Naturforsch. t. 8a, 448, (1953).
- [15] Paul W., Reinhard H.P.; Zahn U.: Z.f. Phys., t. 152, 143, (1958).
- [16] Wannier G.H.: Phys. Rev., t. 100, 1180 (1955).
- [17] Wilesow F.J., Akopian M.E.: Pribory i Tiechn. Eksperim. 1962, Nr 5, str. 145.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 9.I.1964 r.

wyposażyć spektrometr masowy w urządzenie programujące pracę i prosty układ liczący, który sterowany prądem kolektora jonów da na wyjściu sygnały proporcjonalne do ciśnień parcjalnych składników mieszaniny gazowej. Sygnały wyjściowe analizatora mogą być wykorzystane do sterowania przyrządów rejestrujących lub układu automatycznej regulacji procesów przemysłowych.

Powyżej opisane rozwiązania spektrometrów masowych spełniają większość wymagań stawianych spektrometrom przeznaczonym do ciągłej pracy w warunkach przemysłowych. Pod względem konstrukcyjnym cechuje je wyjątkowa prostota budowy i małe wymiary. Stosunkowo niska próżnia, wymagana dla poprawnej pracy analizatora oraz minimalne ilości gazu doprowadzanego pozwala na stosowanie niewielkich i prostych układów próżniowych.

Do przeprowadzenia większości analiz wystarcza zdolność rozdzielcza rzędu 100. Niewielka zdolność rozdzielcza spektrometrów dynamicznych nie stanowi zatem przeszkody w budowie analizatorów.

Spektrometry dynamiczne posiadają na ogół lepsze wykorzystanie wiązki jonowej i dzięki temu uzyskują większą czułość prądową w stosunku do spektrometrów statycznych. Wprowadzenie zmiennych pól elektrycznych i wyeliminowanie dużych elektromagnesów stosowanych w spektrometrach statycznych umożliwiło uzyskanie pełnego widma masowego w bardzo krótkim czasie i dokonywanie szybkich analiz.

Zastosowanie spektrometrii masowej w kontroli procesów przemysłowych pozwoliło na dokonywanie pełnej analizy mieszaniny gazowej w bardzo krótkim czasie nie osiągalnym innymi metodami. Niejednokrotnie wykonanie analizy jest możliwe wyłącznie metodą spektrometryczną.

Czułość i dokładność analiz spektrometrycznych jest bardzo duża i zależy od ilości składników w mieszaninie.

Już od kilku lat spektrometry masowe są stosowane w przemyśle w Stanach Zjednoczonych, Związku Radzieckim i Europie Zachodniej, do przeprowadzania analiz kontrolnych oraz ciągłej kontroli i regulacji pojedynczych składników gazu. Uzyskane doświadczenie i efekty ekonomiczne wskazują na pełną przydatność

tych urządzeń w przemyśle i zachęcają do wprowadzania ich na szerszą skalę. Wprawdzie nie można jeszcze wskazać na najbardziej odpowiednie rozwiązanie spektrometrycznego analizatora gazu, gdyż o tym może decydować stabilność i niezawodność pracy po dłuższym okresie eksploatacji, jednak w literaturze periodycznej spotyka się coraz częściej wzmianki o zastosowaniach dynamicznych spektrometrów masowych.

LITERATURA

- [1] Żuk Wł.: Spektrometria masowa, PWN, W-wa 1956.
- [2] Sommer H., Thomas H.A., Hipple J.A.: Phys. Rev. t.82, 697, (1951).
- [3] Berry C.E.: J. Appl. Phys., t.25, 28 (1954).
- [4] Masica B.: Prace PIE, Nr 1, 1960 r., str. 49.
- [5] Masica B.: Komunikat na XVIII zjazd Fizyków Polskich, Katowice 11-14. IX. 1963.
- [6] Stephens W.E.: Phys. Rev., t. 69, 691 (1946).
- [7] Cameron A.E., Eggers D.F.: Rev. Sci. Instr., t. 19, 605, (1948).
- [8] Agiszew E.J., Jonow N.J.: Żurnal techn. Fiz., t. 28, 1774, (1958).
- [9] Bennett W.H.: J. Appl. Phys., t. 21, 143 (1950).
- [10] Redhead P.A., Crowell C.R.: J. Appl. Phys. t. 24, 331 (1953).
- [11] Tretnier W.: Z. Angev. Phys. t. 11, 395 (1959).
- [12] Schissel P.: J. Appl. Phys., t. 22, 680 (1951).
- [13] Valentini H.B.: Expl. Techn. Phys., t. 8, Nr 2, 65 (1960).

- [14] Paul W., Steinwedel H.: Z.f. Naturforsch. t. 8a, 448, (1953).
- [15] Paul W., Reinhard H.P.; Zahn U.: Z.f. Phys., t. 152, 143, (1958).
- [16] Wannier G.H.: Phys. Rev., t. 100, 1180 (1955).
- [17] Wilesow F.J., Akopian M.E.: Pribory i Tiechn. Eksperim. 1962, Nr 5, str. 145.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 9.I.1964 r.

НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКЦИИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Р е з ю м е

Автор занимается основными конструкциями и характерными параметрами некоторых динамических масс-спектрометров, пригодных к техническим применениям. В масс-спектральном анализе приходится решить системы линейных уравнений. При анализе состава газа более удобным является измерение относительных частных давлений составляющих. Спектрометрический газовый анализатор работает периодически и в его состав входит программирующее и вычислительное устройство.

Показано, что в применении к непрерывным процессам динамические спектрометры имеют ряд преимуществ против статических. Они характеризуются небольшой размерностью, простейшей структурой, а также лучшими динамическими свойствами.

THE CHOSEN MASS SPEKTROMETER DESIGNS AND THEIR
APPLICABILITY IN THE AUTOMATIC CONTROL OF INDUSTRIAL PROCESSES

Summary

The paper deals with principles of performance and with the characteristic parameters of several dynamic mass spektrometers, suitable for the technical applications. The principle of gas analysis was given. The mass spektrum analysis involves the solution of a linear equation system. In the analysis of gas composition it is more advantageous to measure the relative partial pressures of the constituents. The spektrometric gas analyser is based on cyclic operation and it has to involve the programming unit as well as a simple computing system. It was indicated, that for the continuous operation in the industrial conditions, the dynamic spektrometers are more suitable than the static ones. They have a smaller and simpler structure and show better dynamic properties.