

PRECYZYJA POMIARU IŁORAZU M/E METODĄ DWUHALLOTRONOWĄ W SPEKTROMETRZE MAS Z WYBIERANIEM MAGNETYCZNYM

PRECISION M/E RATIO MEASUREMENT BASED ON TWO HALL PROBES METHOD IN A MAGNETICALLY SCANNED MASS SPECTROMETER

W pracy zostało przedstawione urządzenie do identyfikacji rodzaju prądu jonowego w spektrometrach z wybieraniem magnetycznym. W spektrometrach tego typu iloraz m/e jest wprost proporcjonalny do kwadratu indukcji magnetycznej. W opisanym urządzeniu sygnał napięciowy będący miarą ilorazu m/e został uzyskany za pomocą dwóch hallotronów umieszczonych w szczelinie elektromagnesu. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdzają korzystne właściwości metrologiczne (precyzję) opracowanego urządzenia.

In this paper the device for identification of the ion beams in a magnetically scanned mass spectrometer is considered. For mass spectrometers with magnetic scanning the m/e ratio is directly proportional to the square of the magnetic field strength. In the device described a voltage signal precisely matching the ratio m/e is obtained by means of two Hall probes placed into the gap of the electromagnet. Results of the experimental testing confirm the advantageous metrological properties (precision) of the recently developed device.

1. Wprowadzenie

W celu wyznaczenia widma mas za pomocą spektrometru mas z wybieraniem magnetycznym należy zmierzyć iloraz m/e i natężenie prądu jonowego. Poniższe równanie opisuje iloraz m/e w zależności od indukcji magnetycznej B , napięcia przyspieszającego V_i oraz promienia trajektorii jonów r .

$$\frac{m}{e} = \frac{r^2 B^2}{2V_i} \quad (1)$$

Zakładając stałą wartość napięcia przyspieszającego jony V_i , iloraz m/e jest wprost proporcjonalny do kwadratu indukcji magnetycznej:

$$\frac{m}{e} = CB^2 \quad (2)$$

W pracy przedstawiono rozważania teoretyczne i wyniki badań eksperymentalnych nowego urządzenia do pomiaru ilorazu m/e wykorzystującego dwa hallotrony [1]. Zastosowano hallotrony KSY 14 (Sie-

Introduction

To determine a mass spectrum with help from a magnetically scanned mass spectrometer m/e ratio and corresponding its ion current should be measured. The following equation relates m/e with strength of magnetic field, B , the acceleration voltage, V_i , and the radius of ion trajectory, r :

$$\frac{m}{e} = \frac{r^2 B^2}{2V_i} \quad (1)$$

Assuming a constant value of the ion acceleration voltage V_i , the m/e ratio is directly proportional to the square of the magnetic field strength:

$$\frac{m}{e} = CB^2 \quad (2)$$

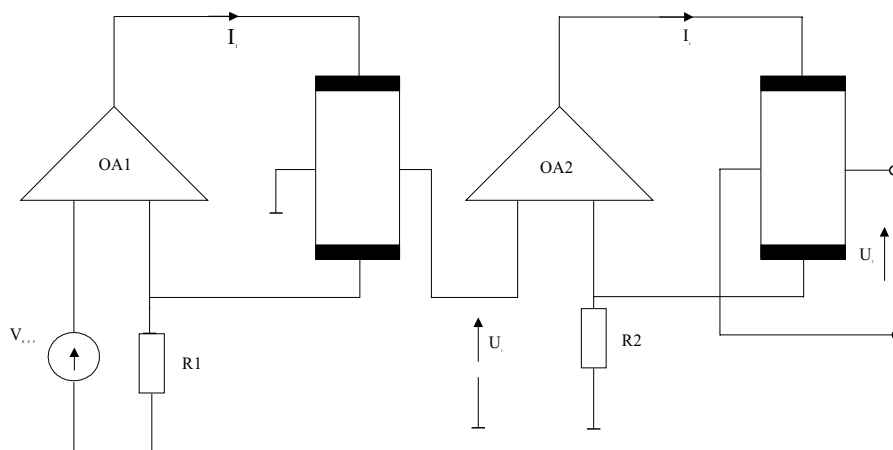
where C is constant.

The paper describes theoretical considerations and the results of experimental research with a new device for m/e ratio measurement based on two Hall probes [1]. We applied ion-implanted Hall probes in a mo-

mens), wykonane metodą implantacji jonów na podłożu arsenku galu oraz bardzo precyzyjne wzmacniacze operacyjne AD548 (Analog Devices).

2. Analiza teoretyczna

Rozważmy układ przedstawiony na rysunku 1. Dwa izolowane elektrycznie hallotrony są umieszczone równoległe pomiędzy biegunami elektromagnesu w celu zapewnienia identycznej indukcji magnetycznej.



Rys. 1. Schemat układu do pomiaru ilorazu m/e w spektrometrze mas z wybieraniem magnetycznym

Fig. 1. Schematic diagram for m/e ratio measurement in magnetically scanned mass spectrometer

Zakładając, że użyte wzmacniacze operacyjne są idealne (nieskończone wzmocnienie w otwartej pętli oraz impedancja wejściowa), poniższe równania umożliwiają opis matematyczny układu:

$$I_1 = \frac{V_{REF}}{R_1} \quad (3)$$

$$V_1 = S_1 I_1 B \quad (4)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2} \quad (5)$$

$$V_2 = S_2 I_2 B \quad (6)$$

gdzie S_1, S_2 są czułościami hallotronów H_1 i H_2 odpowiednio.

W efekcie natężenie prądu wyjściowego I_2 , oraz napięcie V_2 można zapisać w następującej postaci:

$$I_2 = \frac{S_1 V_{REF}}{R_1 R_2} B \quad (7)$$

$$V_2 = \frac{S_1 S_2 V_{REF}}{R_1 R_2} B^2 \quad (8)$$

no-crystalline GaAs material KSY 14 (Siemens), and very precise operational amplifiers AD548 (Analog Devices).

2. Theoretical analysis

Let us consider the circuit diagram shown in figure 1. Two electrically insulated Hall probes are placed in parallel between the magnet poles to fulfil the requirement of identity of the magnetic field strength.

Assuming that the applied operational amplifiers are ideal (infinite open loop gain and input impedance [2]) the following equations are used for the mathematical description of the circuit:

$$I_1 = \frac{V_{REF}}{R_1} \quad (3)$$

$$V_1 = S_1 I_1 B \quad (4)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2} \quad (5)$$

$$V_2 = S_2 I_2 B \quad (6)$$

where S_1, S_2 are sensitivities of Hall probes H_1 and H_2 , respectively.

In this way a final expressions for the output current I_2 and voltage V_2 can be written in the following forms:

$$I_2 = \frac{S_1 V_{REF}}{R_1 R_2} B \quad (7)$$

$$V_2 = \frac{S_1 S_2 V_{REF}}{R_1 R_2} B^2 \quad (8)$$

co oznacza, zgodnie z równaniem (2), że napięcie V_2 jest wprost proporcjonalne do ilorazu m/e w spektrometrze mas z wybieraniem magnetycznym.

Transmitancja układu, określona jako iloraz napięcia wyjściowego V_2 i kwadratu indukcji magnetycznej B , jest równa:

$$\frac{V_2}{B^2} = \frac{S_1 S_2 V_{REF}}{R_1 R_2} \quad (9)$$

Względny błąd transmitancji określa wyrażenie:

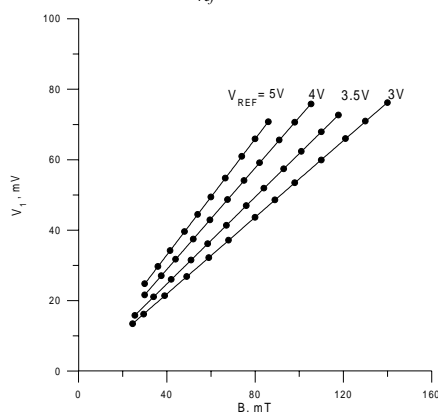
$$\frac{\Delta V_2}{B^2} = \frac{\Delta S_1}{S_1} + \frac{\Delta S_2}{S_2} + \frac{\Delta V_{REF}}{V_{REF}} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} \quad (10)$$

3. Wynik badań eksperymentalnych

Pomiary napięć i prądów przeprowadzono dla wybranych punktów układu. Hallotrony zostały umieszczone w szczelinie elektromagnesu spektrometru mas MI-1305. Maksymalny prąd zasilający dla hallotronów KSY14 jest równy 7mA.

Dla ustalonej wartości napięcia referencyjnego, napięcie wyjściowe pierwszego hallotronu jest wprost proporcjonalne do indukcji magnetycznej B , co przedstawia rysunek 2 i opisuje równanie (4).

Rysunek 3 ilustruje powtarzalność charakterystyki V_1/B pierwszego hallotronu. Względny błąd jest mniejszy niż 0.2%. Optymalna wartość napięcia referencyjnego jest równa $V_{ref}=3.5V$.



Rys. 2. Zależność napięcia wyjściowego pierwszego hallotronu od indukcji magnetycznej dla wybranych napięć referencyjnych

Fig. 2. Dependence of the first Hall probe output voltage on the intensity of magnetic field, at four selected reference voltages

Prąd wyjściowy wzmacniacza operacyjnego OA2 steruje drugim hallotronem. W efekcie otrzymuje się napięcie wyjściowe drugiego hallotronu V_2 , propor-

which means that, according to equation (2), V_2 is directly proportional to the m/q ratio in magnetically scanned mass spectrometer.

The transmittance of this circuit describing the ratio of output voltage, V_2 , to square of magnetic field strength, B , can be determined:

$$\frac{V_2}{B^2} = \frac{S_1 S_2 V_{REF}}{R_1 R_2} \quad (9)$$

The total relative error of transmittance can be estimated by the following formula:

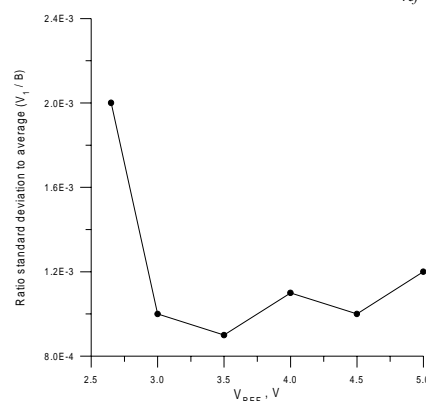
$$\frac{\Delta V_2}{B^2} = \frac{\Delta S_1}{S_1} + \frac{\Delta S_2}{S_2} + \frac{\Delta V_{REF}}{V_{REF}} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} \quad (10)$$

3. Result of experimental research

The measurements of voltages and currents performed at selected circuit terminals have been of above described device. The Hall probes were placed in the gap of electromagnet of mass spectrometer type MI-1305. The maximum supply current for applied Hall probes KSY14 was less than 7mA.

For constant reference voltage the output voltage of the first Hall probe directly proportional to the strength of the magnetic field B as it is shown in fig. 2 and described by equation (4).

Figure 3 shows precision for the first Hall probe characteristic V_1/B . The relative error is less than 0.2%. The best value of reference voltage is $V_{ref}=3.5V$.

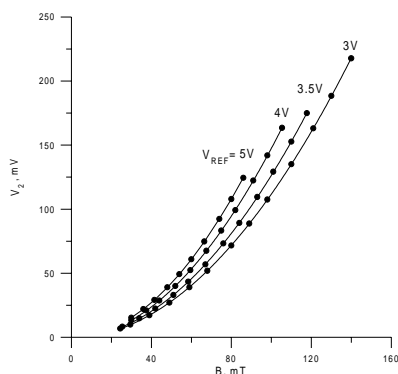


Rys. 3. Ilorazu odchylenia standardowego i wartości średniej dla zależności V_1/B w funkcji napięcia referencyjnego.

Fig. 3. Ratio of standard deviation to average for V_1/B dependence as a function of reference voltage

The output current of the second operational amplifiers controls the second Hall probe. In results the output voltage, V_2 , of the second Hall probe propor-

cyjonalne do kwadratu indukcji magnetycznej (rysunek 4). Zakres indukcji magnetycznej, przedstawiony na rysunku 4, odpowiada wartościom m/e w przedziale 2-208 Daltonów, co stanowi znaczne rozszerzenie w porównaniu z urządzeniem opisanym w pracy [1].



Rys. 4. Zależność napięcia wyjściowego drugiego halolotronu od indukcji magnetycznej, dla wybranych napięć referencyjnych

Fig. 4. Dependence of the output voltage of second Hall probe on the intensity of the magnetic field, at four selected reference voltages.

Minimalny błąd względny pomiaru m/e (rys. 5) odpowiada wartości $V_{REF} = 3.5V$. Jest to optymalny punkt pracy całego układu.

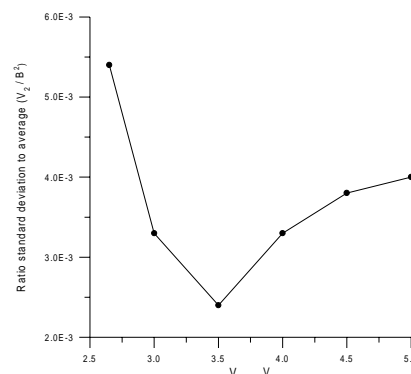
4. Wniosek

Rezultaty badań eksperymentalnych potwierdzają wysoką precyzję ostatnio opracowanego urządzenia. Jest ono proste i wygodne w obsłudze. Niski pobór mocy umożliwia zastosowanie zasilania bateryjnego.

References

- [1] S. Halas, J. Sikora : *Precise m/e monitoring in a magnetically scanned mass spectrometer by using two Hall probes*, J.Phys. E :Sci. Instrum. 20, (1987), 110-113.
- [2] Ulrich Tietze, Christoph Schenk, *Halbleiter-Schaltungstechnik*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1985.

tional to the square of magnetic field strength has been obtained (fig. 4). The whole range for the magnetic field given in figure 4 corresponds to m/e values from 2-208 Daltons which is wider than in the device described previously [1].



Rys. 5. Ilorazu odchylenia standardowego i wartości średniej dla zależności V_2/B_2 w funkcji napięcia referencyjnego

Fig. 5. Ratio of standard deviation to average for V_2/B_2 dependence as a function of reference voltage

Minimum relative error of m/e measurement is identified at $V_{REF} = 3.5V$. This is optimum working point of the measurement system.

4. Conclusion

Results of the experimental testing confirm the advantageous precision of the recently developed device. The circuit is simple and convenient in operation. Its low power consumption allows that it may be used in battery operated system.

Dr inż. Jarosław Sikora

Katedra Automatyki i Metrologii

Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38a

20-618 Lublin

e-mail: jareks@elektron.pol.lublin.pl