

Otwock, 4.08.2023 r.

Narodowe Centrum Badań Jądrowych

ul. Andrzeja Sołtana 7

05-400 Otwock

www.ncbj.gov.pl

e-mail: zp@ncbj.gov.pl

Zapytanie o wartość szacunkową

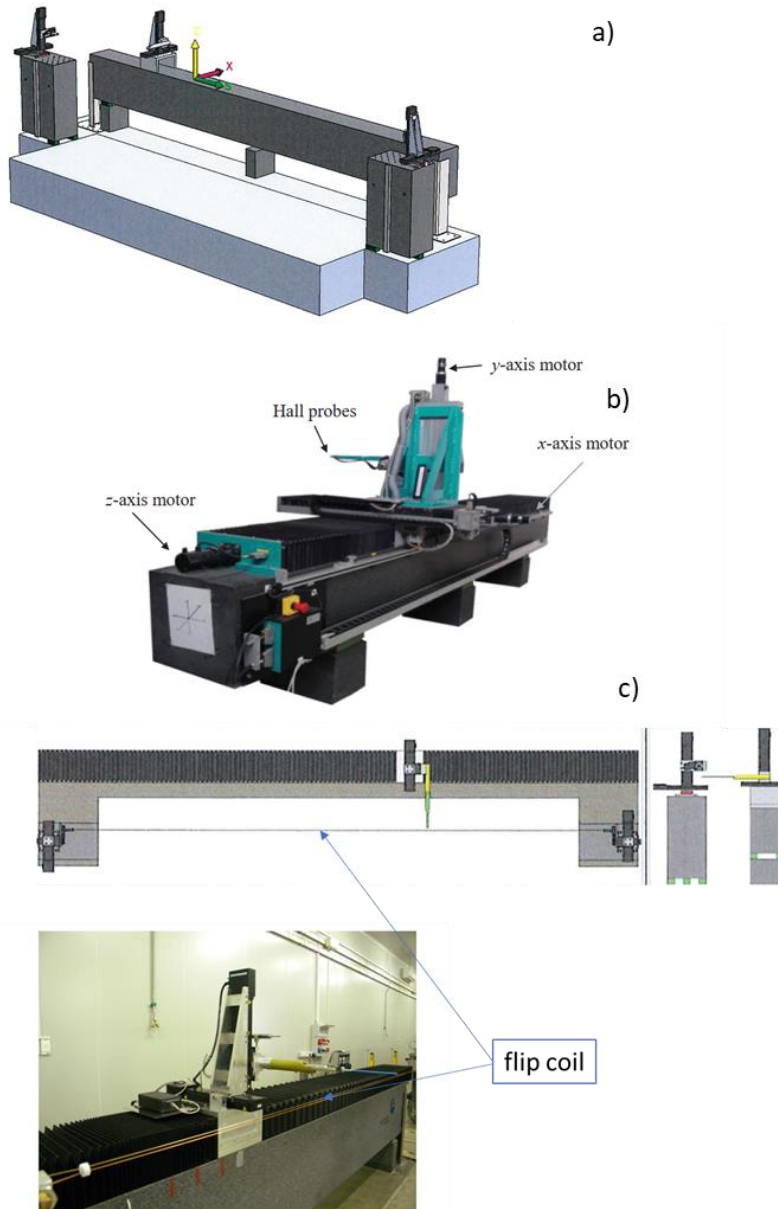
W ramach rozeznania rynku i w celu oszacowania wartości zamówienia zwracam się z uprzejmą prośbą o przedstawienie wartości szacunkowej (brutto i netto) dostawy do siedziby Zamawiającego systemu pomiarów magnetycznych wraz z jego zainstalowaniem i uruchomieniem.

Opis przedmiotu zamówienia

System pomiarowy do undulatorów z sondą Halla (ang. Hall probe) wraz z obracaną cewką (ang. flip coil) umieszczony na granitowej lawie optycznej

I. Opis systemu pomiarowego z sondą Halla i obracaną cewką (ang. flip coil)

Typową konfigurację systemu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Precyzyjna sonda Halla i obracana cewka są napędzane przez zmotoryzowane systemy pozycjonujące, które są



Rys. 1. a) Granitowe łąwy do systemów pomiarowych z obracana cewką i sondą Halla b) widok typowego systemu pomiarowego przy pomocy sondy Halla c) widok obracanej cewki i jej położenia względem sondy Halla

zamontowane na blokach granitowych, aby zapewnić wymaganą stabilność i dokładność (rysunek 1a). Typowa standardowa płaskość górnej powierzchni odniesienia łąw granitowych jest lepsza niż $20\ \mu\text{m}$. Na górnej powierzchni każdego stołu znajdują się precyzyjne prowadnice montowane z typową dokładnością równoległości $5\ \mu\text{m}$

Stanowisko z sondą Halla jest przeznaczone do pomiarów profili pola magnetycznego wzdłuż kierunku ruchu wiązki elektronowej (osi z). Silnik liniowy odpowiada za ruch wózka wzdłuż kierunku z. Dwa inne manipulatory odpowiadają za poprzeczne przemieszczenie w poziomie (x) i w pionie (y) uchwytu sondy Halla względem wózka silnika liniowego (rysunek 1b)

Uchwyt sondy Halla składa się ze zintegrowanych czujników odpowiedzialnych za pomiar indukcji pola magnetycznego jednocześnie w kierunku x, y and z. Uchwyt jest montowany na wysięgniku o długości około 0,5 m. Pomiaru profilu pola magnetycznego wzdłuż osi z wykonywane są z typową

prędkością pomiarową 25 mm/s. Czujniki z sondą Halla powinny wykazywać bardzo niski poziom szumów, mieć kompensację podłużnego efektu Halla i bardzo mały dryft sygnału wyjściowego. Powinno to umożliwiać dobry pomiar profili pola magnetycznego urządzeń, jak również powinno umożliwić wyodrębnienie z profili pól pierwszej i drugiej całki pola z dobrą dokładnością. Tak otrzymane całki pola można porównać z wartościami zmierzonymi za pomocą obrotowej cewki i wykorzystać wyniki pomiarów do wzajemnej kalibracji.

Technika cewki obrotowej służy do bezpośredniego pomiaru pierwszej i drugiej całki pola magnetycznego. Pierwsza całka pola odpowiada całkowitemu odchyleniu kątowemu przechodzącej wiązki elektronów, a druga całka pola odpowiada całkowitemu przemieszczeniu wiązki elektronów względem środka urządzenia.

Metoda obracanej cewki polega na tym, że długa cewka jest obracana w magnesie podczas pomiaru o 180° i rejestrowane jest indukowane napięcie V . Typowa cewka składa się z kilkudziesięciu zwojów drutu. Zmiana strumienia magnetycznego $\Delta\phi$ podczas pomiaru jest równa dwukrotności strumienia ϕ_0 związanego z cewką w początkowym położeniu kątowym. Jeżeli pętla cewki tworzy dwa równoległe druty o niewielkiej odległości W na długości magnesu, $\phi_0 = W I_1$, gdzie I_1 jest pierwszą całką polową składowej pola. Jeżeli szerokość cewki jest równa zero na jednym z końców to $\phi_0 = W I_2/L$, gdzie L jest długością cewki, a I_2 jest całką drugiego pola. Dlatego całkując napięcie indukowane podczas obrotu cewki o 180° można w prosty sposób określić pierwszą lub drugą całkę pola, gdy znane są wymiary cewki.

Cewka obrotowa jest rozciągnięta między dwiema jednostkami, zamontowanymi na granitowych wspornikach. Każda jednostka składa się ze manipulatorów liniowych i obrotowych, jak pokazano na rysunku 1c. Manipulatory liniowe odpowiadają za pozycjonowanie cewki w poziomie i pionie. Manipulatory obrotowe zamontowane na manipulatorach liniowych stopni służą do obracania cewki.

II. Specyfikacja systemu pomiarowego

1. Wymagania ogólne:

Dostarczany system powinien być fabrycznie nowy, sprawny i zintegrowane z systemami sterowania i akwizycji danych.

Wykonawca po dostawie systemu uruchomi go w siedzibie Zamawiającego oraz przeszkoli personel Zamawiającego w zakresie jego użytkowania, przy czym uruchomienie i szkolenie będzie łącznie nie krótsze niż 2 tygodnie (10 dni roboczych).

Układy pomiarowe muszą być objęte nie mniej niż 12 miesięczną gwarancją od daty odbioru, na wszelkie wady konstrukcyjne.

2. Mechaniczne parametry mierzonych urządzeń magnetycznych

Stanowiska pomiarowe posłużą do charakteryzowania undulatorów a także magnesów dipolowych akceleratora. Undulatory są nie dłuższe niż 2 m, a ich minimalna szerokość szczeliny wynosi 8,5 mm. Magnesy akceleratorowe nie są dłuższe niż 1 m. Minimalna szczelina w magnesach dipolowych wynosi 20 mm.

3. Systemy sterowania i akwizycji danych

Systemy pomiarowe powinny być wyposażone w komputer PC oraz dedykowany graficzny interfejs użytkownika GUI, który umożliwia bardzo prostą obsługę stanowiska. Program powinien umożliwić operatorowi poruszanie zmotoryzowanymi osiami, monitorowanie stanu stanowiska i wykonywanie procedur pomiarowych przygotowanych przez operatora. Stanowisko powinno być wyposażone w zestaw standardowych procedur pomiarowych, które mogą być użyte przez operatora w celu

wykonywania bardziej złożonych zadań pomiarowych. Pomiar powinien w wygodny sposób przedstawiać dane w formie wykresów na ekranie komputera. Dane pomiarowe powinny być zapisywane również do plików tekstowych w celu ich dalszego opracowania w wybranym oprogramowaniu służącym do analizy danych.

4. Justowanie

Stanowiska pomiarowe powinny być wyposażone w układy odniesienia, za pomocą których można z wystarczającą dokładnością ustawić osie stanowisk pomiarowych względem układu odniesienia magnesów. Tolerancje wynoszą nie więcej niż 50 mikronów względem położenia pozycji osi magnesu i 0,1 miliradiana względem orientacji osi magnesu.

5. Dokładność wyznaczenia głównych parametrów magnesu:

a. Undulatory:

- Dokładność pomiaru pola magnetycznego wewnątrz undulatorów: $< 2 \text{ mT}$
- Rozdzielczość przestrzenna: $\leq 0,1 \text{ mm}$ we wszystkich kierunkach
- Dokładność pomiaru całki pierwszego pola: $\leq 1 \cdot 10^{-5} \text{ Tm}$
- Czułość całki pomiaru pierwszego pola: $\leq 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}$
- Dokładność pomiaru całki drugiego pola: $\leq 2 \cdot 10^{-5} \text{ Tm}^2$
- Czułość pomiaru całki drugiego pola: $\leq 4 \cdot 10^{-6} \text{ Tm}^2$

6. Wymagania dotyczące stanowiska pomiarowego sondy Halla

a. System mechaniczny

- Zakres ruchu poziomego wzdłuż osi podłużnej: $\geq 2500 \text{ mm}$
- Zakres ruchu poziomego prostopadle do osi podłużnej: $\geq 300 \text{ mm}$
- Zakres ruchu pionowego prostopadle do osi podłużnej: $\geq 300 \text{ mm}$
- Powtarzalność: nie gorsza niż $\pm 3 \mu\text{m}$ dla każdej osi
- Równoległość ruchu: nie gorsza niż $\pm 20 \mu\text{m}$

b. 3 – osiowa (B_x, B_y, B_z) sonda Halla

- Dokładność kątowa ustawiania indywidualnych czujników (błąd ortogonalności): $< 0,1^\circ$
- Maksymalna wartość mierzonego pola magnetycznego: nie mniejsza $\pm 2 \text{ T}$, brak nasycenia wyjść
- Zakres liniowy pomiaru indukcji magnetycznej: nie mniej niż $\pm 2 \text{ T}$, w pełni skalibrowany zakres pomiarowy
- Całkowita dokładność pomiaru: $\leq 0,1\%$
- Czułość na pole magnetyczne DC: nie gorsza niż 5 V/T , wyjście różnicowe
- Tolerancja czułości: $\leq 0,02\%$
- Nieliniowość: $\leq 0,05\%$
- Planarne napięcie Halla: $< 0,01\%$ normalnego napięcia Halla V
- Temperaturowy współczynnik czułości: $< \pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ dla zakresu temperatur $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
- Długotrwała niestabilność czułości pomiarowej: $< 1\%$ przez 10 lat
- Sygnał niezrównoważenia (dla $B = 0 \text{ T}$): $< \pm 2 \text{ mT}$ @ zakres temperatur $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$
- Współczynnik temperaturowy niezrównoważenia: $< \pm 4 \mu\text{T}/^\circ\text{C}$
- Wahania sygnału niezrównoważenia i dryftu w zakresie $0,01\text{-}10 \text{ Hz}$: $< 3 \mu\text{T}$ dla wartości szczytowych

- Szum wyjściowy:
 - Gęstość widmowa szumów przy $f = 1 \text{ Hz}$: $< 0,12 \mu\text{T/Hz}$
 - Gęstość widmowa szumów przy $f > 10 \text{ Hz}$: $< 0,1 \mu\text{T/Hz}$
 - Szum szerokopasmowy: $< 3 \mu\text{T}$ szum RMS
 - Pasma częstotliwości 500 Hz
- Czujnik powinien mieć wbudowany czujnik temperatury w celu kompensacji wpływu temperatury

C. Standardowe procedury pomiarowe:

- Jednopunktowa akwizycja sondy Halla.
Akwizycję pojedynczego punktu można wykonać w dowolnym żądanym punkcie w zakresie ruchu stopni zmotoryzowanych.
- Skanowanie
Odstęp skanowania można ustawić dowolnie powyżej 0,1 mm. Szybkość skanowania powinna być dostosowana do interwału skanowania, tak aby zachować pełną rozdzielczość akwizycji. System powinien obsługiwać skany przy rozdzielczości 1 mm z prędkością nie mniejszą niż 12,5 mm/s.

7. Wymagania dotyczące stanowiska pomiarowego cewki obrotowej

a. System mechaniczny

- Zakres ruchu poziomego prostopadle do osi podłużnej: $\geq 300 \text{ mm}$
- Zakres ruchu pionowego prostopadle do osi podłużnej: $\geq 300 \text{ mm}$
- Ruch obrotowy: wieloobrotowy
- Dokładność pozycji: $\leq 20 \mu\text{m}$ dla każdej osi
- Powtarzalność pozycji: $\leq 5 \mu\text{m}$ dla każdej osi
- Dokładność położenia kąтового: $\leq 0,05^\circ$
- Powtarzalność położenia kąтового: $\leq 0,02^\circ$
- Szerokość cewki: $\geq 6 \text{ mm}$, $\leq 10 \text{ mm}$
- Kształt cewek umożliwiający pomiary pierwszej i drugiej całki pola magnetycznego

b. Standardowe procedury pomiarowe:

- Jednopunktowa akwizycja całek pola
Pomiary jednopunktowe całek pola powinny być możliwe dowolnym punkcie na płaszczyźnie xy w zakresie ruchu stopni zmotoryzowanych. Prędkość obrotowa i przyspieszenie powinny być regulowane odpowiednio do 1,5 obr/s i 1,5 obr/s². Użytkownik powinien móc regulować czas całkowania integratora napięcia w odstępach 20 ms.

8. Wymagane parametry nanowoltomierza do całkowania indukowanego napięcia z obracanej cewki:

- Dwa kanały pomiarowe
- Poziom szumów: $< 15\text{nVp-p}$ przy czasie odpowiedzi 1 s
- Synchronizacja z siecią zasilania i eliminacja wpływu prądów prądu przemiennego *lepsza niż 110 dB NMRR*
- Wbudowana linearyzacja wpływu napięć kontaktowych i kompensacja zimnych złączy (ang. built-in thermocouple linearization and cold junction compensation)

Order description

The subject of the procurement procedure is the delivery to the Orderer of a magnetic measurement systems to be installed on the Orderer premises:

- Measuring system for undulators with a Hall probe and with a flip coil placed on granite benches

I. Description of the Hall probe and flip coil system

Typical configuration of the measurement system is illustrated in Figure 1. A high precision Hall probe and a flip coil is driven by a motorized positioning systems which is mounted on

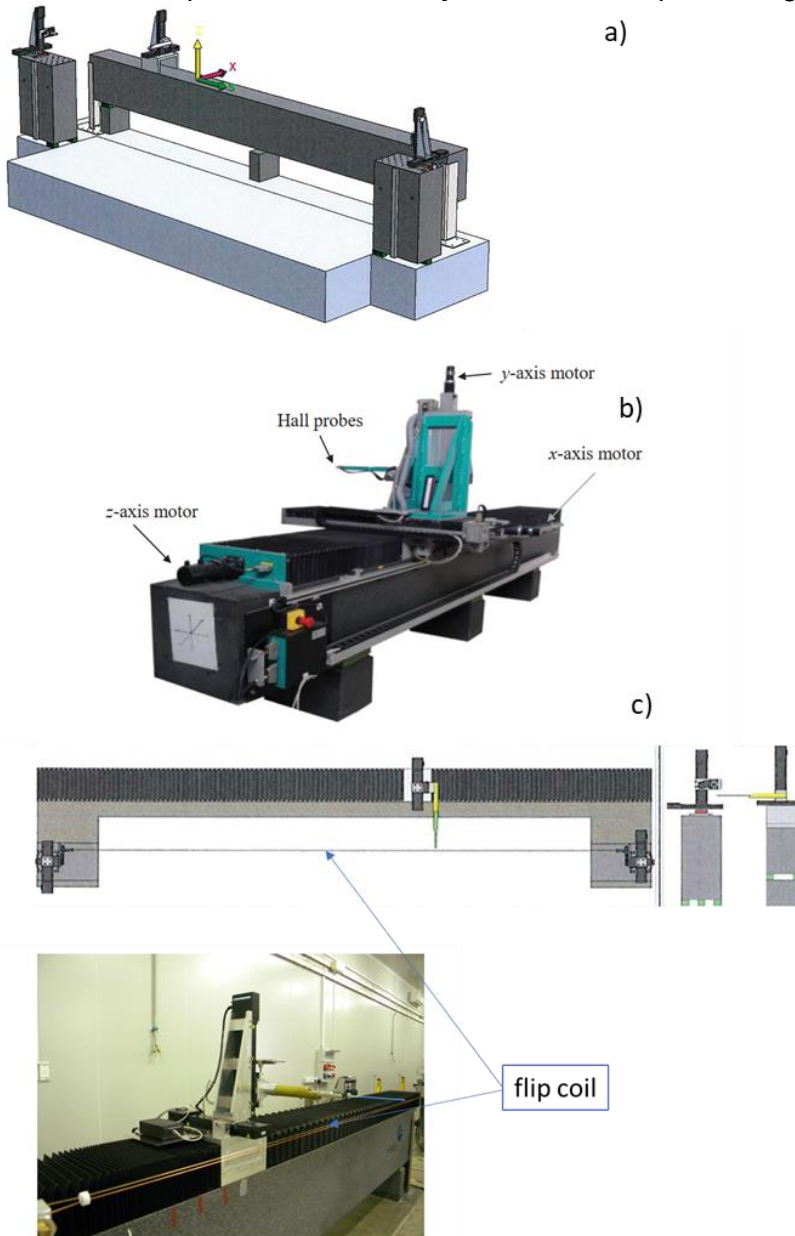


Figure 1. a) Granite benches for flip coil and Hall probe measurement systems, b) view of a typical Hall probe measuring bench, c) view of the a flip coil with respect to a Hall probe

granite blocks to assure required stability and accuracy (Figure 1 a). A typical standard flatness of the upper reference surface of the granite benches is better than $20 \mu\text{m}$. There are precision guiding rails assembled with the standard parallelism of $5 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$ on the top surface of each bench.

The Hall Probe Bench is dedicated to the measurements of the magnetic field profiles along the insertion axis. The linear motor is responsible for the movement of the carriage along the beam direction (z), whereas two other stages are responsible for the horizontal (x) and vertical (y) displacement of the Hall probe holder with respect to the linear motor carriage (Figure 1 b)

The Hall probe holder consists of integrated sensors responsible for measuring of the magnetic field induction uniquely in the respective x (transverse), and y (vertical) directions. It is mounted on an arm. The total length of this assembly is about 0.5 m. The measurements of the magnetic field profile along the bench are executed on the fly with the typical measurement speed of 25 mm/s. Hall probe sensors should exhibit ultra-low noise, have a compensation for the planar hall effect and excellent low signal drift. This should enable a good measurement of magnetic field profiles of the insertion devices as well should enable to extract the first and second field integrals from field profiles with a good accuracy. The extracted field integrals can be compared with the values extracted from flip coil measurements and used for crosscalibration purposes.

The flip coil technique is used to directly measure the first and the second field integral. The first field integral corresponds to the net angular deviation and the second field integral the net displacement of the electron beam referred to the center of the device.

In the flip coil technique a long coil is rotated within the magnet by 180° during the measurement, and the induced voltage V is recorded. A typical coil consist of several tens of turns of wire. The flux change $\Delta\phi$ during the measurement is equal to twice the flux ϕ_0 linked with the coil in the initial angular position. If the loop of the coil forms two parallel wires with a small distance of W along the magnet's length, $\phi_0 = Wl_1$, where l_1 is the first field integral of the field component. If the coil's width is set to zero at one of the ends $\phi_0 = Wl_2/L$, where L is the coil's length and l_2 is the second field integral. Therefore, by integrating the induced voltage during the coil's flip one can straightforwardly determine the first or the second field integral when the dimensions of the coil are known.

The flip coil is stretched between two units, mounted on granite supports each consisting of translation and rotary stages as indicated in Figure 1 c. Translation stages are responsible for the horizontal and vertical positioning of the coil. The rotary stages, mounted on the translation stages assembly are used to flip the coil.

II. System requirements

1. Overall requirements:

Delivered system should be brand new, operational and integrated with control and data acquisition systems.

After delivery of the system, the vendor will commission the system at Orderer site and train the Orderer personnel. The duration of the commissioning and the training will be together at least two weeks (10 working days).

The measuring systems should come with at least 12 months guarantee from the date of reception, for any of construction defects.

2. Parameters of measured magnetic devices

The measuring benches will be used to characterize undulators and additionally accelerator dipole magnets. The undulators are not longer than 2 m and its minimal gap width is 8.5 mm. The accelerator magnets are not longer than 1 m. The minimal gap in the dipole magnets is 20 mm.

3. Control and the data acquisition systems

The measuring systems should come equipped with a PC and a dedicated GUI program which enables a very straightforward operation of the bench. The program enables the operator to move the motorized axes, monitor the bench status and run measurement procedures that are prepared by the operator. The bench should come with a set of standard measurement procedures that can be used out of the box and can be also elaborated by the operator to perform more complex measurements tasks. The measurement can be conveniently presented on a graph inside the PC program. The measurement data can be also exported to text files to be further analyzed in a data analysis software of choice.

4. Alignment

The measuring benches should be equipped with fiducial systems that can be used to align the axes of the measuring benches with respect to magnets reference system with sufficient accuracy. The tolerances are not worse than 50 microns regarding alignment with respect to magnet axes positions and 0.1 milliradians with respect to magnet axis orientations.

5. Accuracy of determining main magnet parameters:

a. Undulators:

- Magnetic field measurement accuracy inside undulators: < 2 mT
- Spatial resolution: ≤ 0.1 mm in all directions
- First field integral accuracy: $\leq 1 \cdot 10^{-5}$ Tm
- First field integral sensitivity: $\leq 2.5 \cdot 10^{-6}$ Tm
- Second field integral accuracy: $\leq 2 \cdot 10^{-5}$ Tm²
- Second field integral sensitivity: $\leq 4 \cdot 10^{-6}$ Tm²

6. Requirements for Hall probe measuring bench

a. Mechanical system

- Range of horizontal movement along longitudinal axis: ≥ 2500 mm
- Range of horizontal movement perpendicular to longitudinal axis: ≥ 300 mm
- Range of vertical movement perpendicular to longitudinal axis: ≥ 300 mm
- Repeatability: not worse than ± 3 μ m for each axis
- Movement parallelism: not worse than ± 20 μ m

b. 3 - axis (B_x, B_y, B_z)_Hall probe sensor

- Angular accuracy: orthogonality error $< 0.1^\circ$
- Maximum magnetic flux density: not less than ± 2 T, no saturation of the outputs
- Linear range of magnetic flux density: not less than ± 2 T, fully calibrated measurement range
- Total measuring Accuracy: $\leq 0.1\%$
- Sensitivity to DC magnetic field: not worse than 5 V/T, differential output
- Tolerance of Sensitivity: $\leq 0.02\%$
- Nonlinearity: $\leq 0.05\%$
- Planar Hall voltage: $< 0.01\%$ of V normal
- Temperature Coefficient of Sensitivity: $< \pm 50$ ppm/ $^\circ$ C @ temperature range 23° C $\pm 5^\circ$ C
- Long-term instability of sensitivity: $< 1\%$ over 10 years

- Offset (@ $B = 0T$) : $< \pm 2 \text{ mT}$ @ temperature range $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
 - Temperature Coefficient of the Offset: $< \pm 4 \mu\text{T}/^{\circ}\text{C}$
 - Offset fluctuation & drift within 0.01-10 Hz: $< 3 \mu\text{T}$ Peak-to-peak values
 - Output noise:
 1. Noise Spectral Density @ $f = 1 \text{ Hz}$: $< 0.12 \mu\text{T}/\text{Hz}$
 2. Noise Spectral Density @ $f > 10 \text{ Hz}$: $< 0.1 \mu\text{T}/\text{Hz}$
 3. Broad-band Noise: $< 3 \mu\text{T}$ RMS noise
 4. Frequency Bandwidth: 500 Hz
 - The sensor should have Integrated temperature sensor on the probe for temperature compensation
- c. Standard measuring procedures:
- Single point Hall probe acquisition.
A single point acquisition can be made at any desired point within the travel range of motorized stages
 - On the fly Hall probe scan
Scan interval can be set at any choice above 0.1 mm. The scan speed should be adjusted to the scan interval to preserve full resolution of acquisition. The system should support scans with 1 mm resolution at the speed not lower than 12.5 mm/s

7. Requirements for Flip Coil measuring bench

- a. Mechanical system
- Range of horizontal movement perpendicular to longitudinal axis: $\geq 300 \text{ mm}$
 - Range of vertical movement perpendicular to longitudinal axis: $\geq 300 \text{ mm}$
 - Rotary motion: multiturn
 - Accuracy of position: $\leq 20 \mu\text{m}$ for each axis
 - Repeatability of position: $\leq 5 \mu\text{m}$ for each axis
 - Accuracy of angular position: $\leq 0.05^{\circ}$
 - Repeatability of angular position: $\leq 0.02^{\circ}$
 - Coil width: $\geq 6 \text{ mm}$, $\leq 10 \text{ mm}$
 - The coils should support the first and second field integral measurements
- b. Standard measuring procedures:
- Single point acquisition of field integrals
A single point measurements of field integrals can be made at any desired point in xy plane within the travel range of motorized stages. The rotation speed and the acceleration can be adjusted up to 1,5 turns/s and 1,5 turns/s² respectively. The user can also adjust the integration time of the voltage integrator in the intervals of 20 ms

8. Parameters of nanovoltmeter used to integrate induced voltages by flip coil

- Two input channels
- Noise level: $\leq 15 \text{ nVp-p}$ noise at 1s response time
- Synchronization to line frequency
- At least 110dB *NMRR* rejection of the effect of AC common-mode currents
- Built-in thermocouple linearization and cold junction compensation