

Sensory pola magnetycznego i prądu

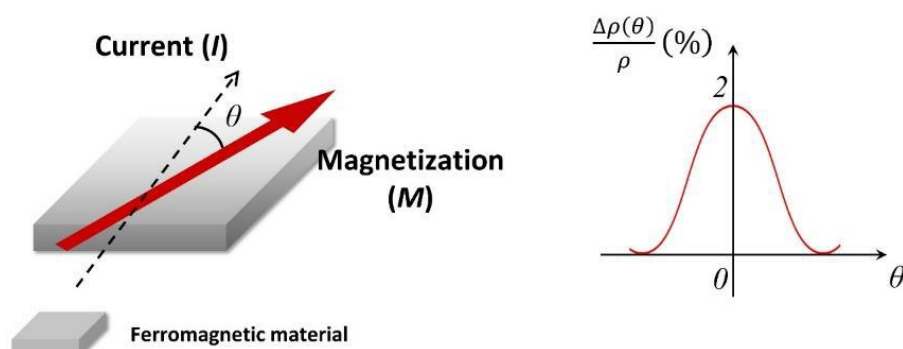
Cel ćwiczenia

Zbadanie parametrów oraz wyskalowanie czujnika magnetorezystancyjnego AMR. Zbadanie wpływu kierunków linii pola magnetycznego na pracę magnetorezystora. Określenie kierunku oraz wartości pola magnetycznego Ziemi, oraz zaproponowanie metody i doświadczalne przeprowadzenie kompensacji powyższego pola.

1. Wstęp

Zasada działania czujnika AMR Barber-pole jest następująca. Jeśli pole zewnętrzne $H_x = 0$ cienka warstwa jest namagnesowana w kierunku paska (na skutek wpływu anizotropii indukowanej w procesie wytwarzania warstwy). Mierzone pole H_x jest skierowane prostopadłe do osi paska (w płaszczyźnie warstwy) i powoduje obrót wektora namagnesowania. Zmiana rezystancji $\Delta R/R$ zależy od kąta między kierunkiem wektora namagnesowania a kierunkiem przepływu prądu:

$$\frac{\Delta R}{R} = -\frac{\Delta\rho}{\rho} \sin^2(\theta)$$



Rys. 1 Obrót wektora namagnesowania pod wpływem zewnętrznego pola na pasku materiału magnetycznego (permaloj), oraz miana zmiana magnetorezystywności

Współczynnik magnetorezystywności ($\Delta\rho/\rho$) dla typowej cienkiej warstwy permalowej (81/19 NiFe) jest równy ok. 2%. Kierunek wektora namagnesowania zależy od wartości pola magnetycznego H_x :

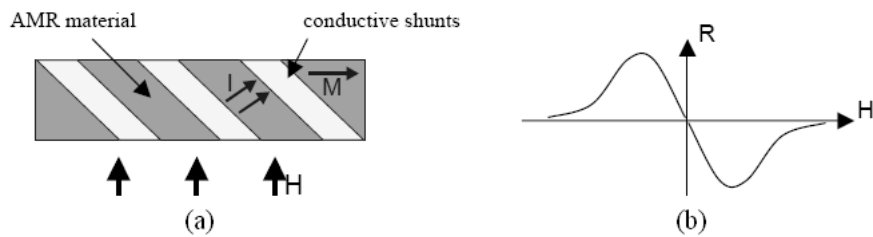
$$\sin(\theta) = \frac{H_x}{H_y + H_k}$$

H_x – składowa pola prostopadła do osi paska,

H_y – składowa pola wzdłuż osi paska,

H_k – pole anizotropii ($H_k = H_{k0} + M_t/w$), H_{k0} – pole anizotropii materiału warstwy (dla permalaju

ok. 250 A/m), t – grubość warstwy, w – szerokość paska, M – magnetyzacja.

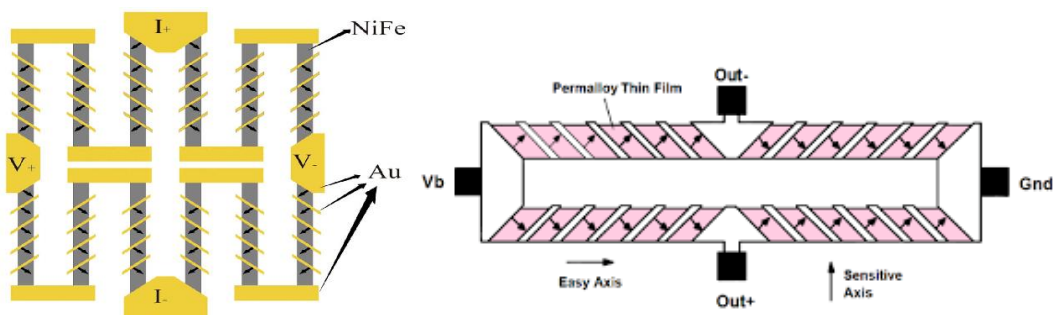


Rys. 2. Magnetorezystory typu AMR, a) czujnik Barber-pole konstrukcja wymusza przepływ prądu pod kątem 45° , b) zmiana rezystancji czujnika w prawidłowo ustawionym układzie.

Dla $\theta = 45^\circ$. czujnik jest liniowy i można zapisać

$$\frac{\Delta R}{R} \cong -\frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{H_x}{H_y + H_k}$$

Konstrukcja Barber-pole spełnia warunek $\theta = 45^\circ$, gdyż dodatkowe elektrody z materiału dobrze przewodzącego (złoto lub aluminium) wymuszają kierunek prądu jak to pokazano na rysunku 2a. Prąd przepływający przez elektrody spełnia dodatkową rolę, wytwarzając pole magnetyczne H_{yo} wstępnie podmagnesowujące warstwę i zabezpieczające ją przed rozmagnesowaniem. Zwykle cztery magnetorezystory łączy się w układ mostkowy (Rys. 3.), i wówczas sygnałem wyjściowym czujnika jest zmiana napięcia



Rys. 3. Różne układy mostkowe magnetorezystorów AMR

2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne zestawieni układów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów i zebranie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia, jak również opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

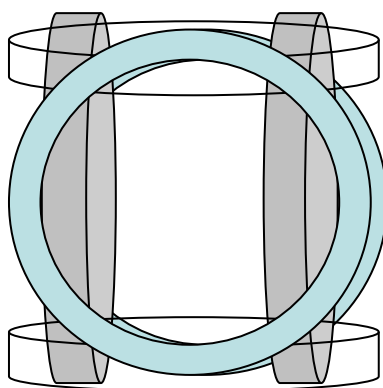
Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

2.1 Stanowisko pracy

Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

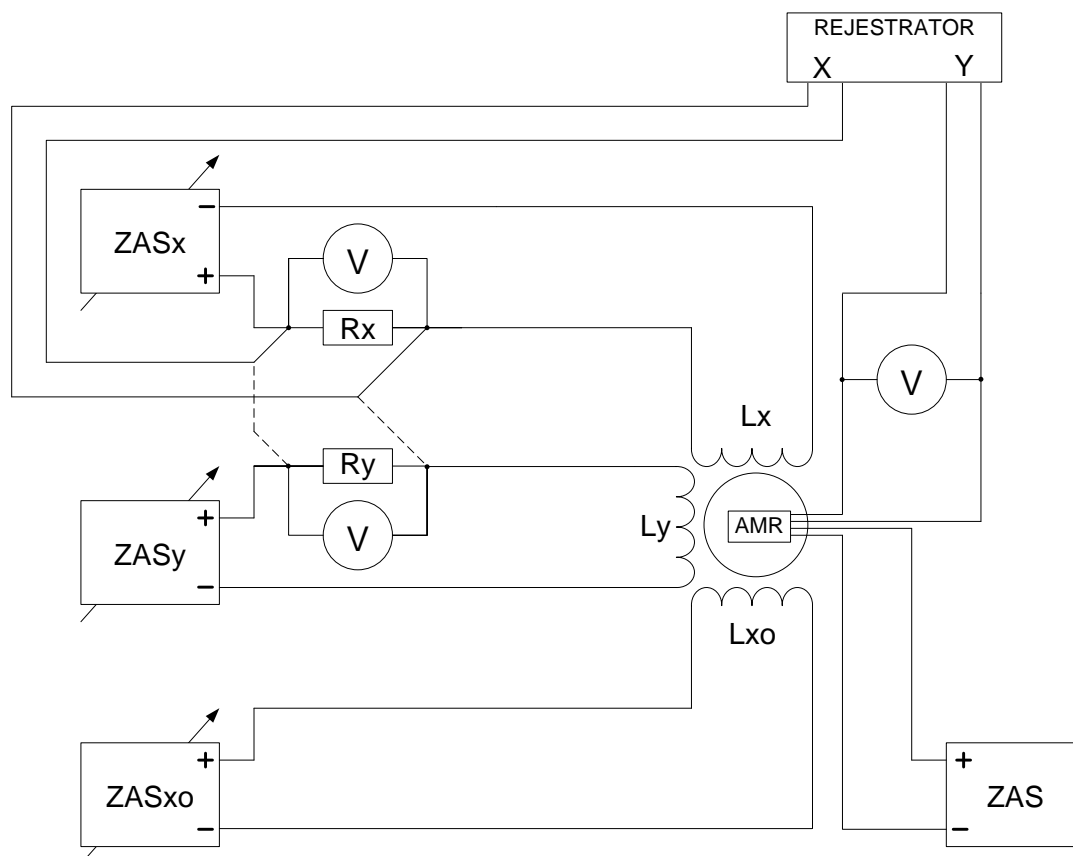
- Magnetorezystor AMR
- Układ cewek Helmholtza
- Multimetr laboratoryjny – 3 szt.
- Zasilacze laboratoryjne regulowane – 3szt.
- Rezystory wzorcowe – 2szt.
- Komputer PC z oprogramowaniem pozwalającym na przedstawienie wyników pomiarów w sposób graficzny oraz wspomagającym wykonanie sprawozdania końcowego.
- Instrukcje wykonania ćwiczenia

Kluczowym elementem dla przebiegu ćwiczenia jest magnetorezystancyjny czujnik pola magnetycznego KMZ10B firmy Philips. W ćwiczeniu czujnik ten został zamontowany na stelażu zintegrowanym z układem cewek Helmholtza, potrafiącym wytworzyć niemal jednorodne pole magnetyczne w dużej objętości. Rzeczywisty układ cewek wykorzystywany w ćwiczeniu przedstawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie układu cewek Helmholtza wykorzystywanych w ćwiczeniu

W ćwiczeniu do wyznaczenia wszystkich potrzebnych charakterystyk i wykonania pomiarów przewidziano jeden układ pomiarowy, którego schemat przedstawiony jest na rysunku 5.



Rys 5. Schemat układu pomiarowego.

2.2 Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania $U_{wy}=f(H_x)$ przy $H_y=constans$

Podstawowa charakterystyka przetwarzania czujnika AMR przedstawia zależność wartości napięcia wyjściowego w funkcji natężenia pola magnetycznego $U_{wy}=f(H_x) | H_y=constans$. W celu wyznaczenia charakterystyki należy zestawić przyrządy pomiarowe oraz czujnik zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 3.

- a) O ile prowadzący nie zaleci inaczej należy wyznaczyć 7 charakterystyk

$U_{wy}=f(H_x) | H_y=constans$ przy różnym natężeniu pola H_y ,

Uwaga: należy pamiętać o tym, aby nie wytwarzać pola magnetycznego o wartości większej niż $\pm 2\text{kA/m}$ (przekroczenie podanej wartości może spowodować rozmagnesowanie czujnika)

- b) Wartość pola H_y można zmieniać od $-1,5\text{kA/m}$ do $+1,5\text{kA/m}$ (Regulacja natężenia pola H_y odbywa się poprzez zmianę prądu płynącego w cewkach „y”. W celu obliczenia pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki „y”, należy wartość płynącego prądu w cewkach „y” pomnożyć przez współczynniki „ H_y ”. Wartość współczynniki dla

odpowiednich cewek znajduje się na stelażu na którym są zamontowane cewki Helmholtza).

- c) Każda charakterystyka powinna składać się $18 \div 20$ punktów pomiarowych
- o Po uzgodnieniu z prowadzącym część charakterystyk może zostać wyznaczona z pomocą rejestratora XY. W tym celu sygnał wyjściowy z czujnika musi zostać podłączony do wejścia Y rejestratora, natomiast wejście X musi zostać podany sygnał proporcjonalny do natężenia pola H_y , np.: napięcie na rezystorze R_y .
- d) Wartość pola H_x należy zmieniać od -2kA/m do $+2\text{kA/m}$ (Regulacja natężenia pola H_x odbywa się poprzez zmianę prądu płynącego w cewkach „x”. W celu obliczenie pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki „x”, należy wartość płynącego prądu w cewkach „x” pomnożyć przez współczynniki „ H_x ”. Wartość współczynniki dla odpowiednich cewek znajduje się na stelażu, na którym są zamontowane cewki Helmholtza).
- e) Wyniki pomiarów należy zapisać w protokole jak również w oprogramowaniu wspomagającym wykonanie ćwiczenia

Oprogramowanie wspomagające prace przy badaniu parametrów czujnika magnetorezystancyjnych ma postać arkusza kalkulacyjnego z odpowiednim interfejsem graficznym. Charakterystyka przedstawiona na rys. 6 jest typową rzeczywistą charakterystyką badanego czujnika.

Podczas pomiarów należy:

- Rodziny charakterystyki zbierać zaczynając każdorazowo od takiej samej wartości wymuszenia np.: $H_x = -1,5\text{kA/m}$
- Zachować monotoniczność zmian pola H_x dla całej charakterystyki (ze względu na występowanie pętli histerezy).

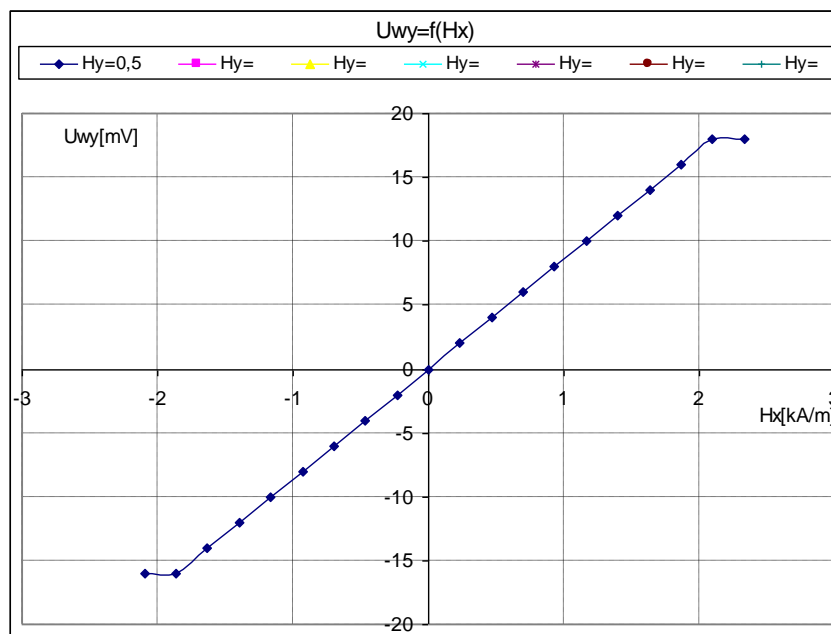
Zadanie

1. Po zebraniu charakterystyk wyznaczyć czułość sensora AMR dla każdej z zebranych charakterystyk,

Problemy:

1. Czy uzyskane charakterystyki są poprawna – jeśli nie, pomiary należy powtórzyć?
2. Dlaczego uzyskane charakterystyki odbiegają od charakterystyk idealnych

3. Jakie informacje niosą powyższe charakterystyki co Dzięki za wszystko i nim można określić?
4. W jaki sposób zmiany pola H_y wpływają na charakterystykę $U_{wy}=f(H_x)$
5. W jaki sposób zmiany pola H_y wpływają na współczynnik s



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka przetwarzania $U_{wy}=f(H_x)$ / $H_y=constans$ czujnika KMZ10B

2.3 Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania $U_{wy}=f(H_y)$ przy $H_x=constans$

Następnym punktem realizowanym w ćwiczeniu jest zebranie rodziny charakterystyk $U_{wy}=f(H_y)$ oraz zbadanie wpływu zmian pola H_x na powyższe charakterystyki. W celu wyznaczenia charakterystyk należy zestawić przyrządy pomiarowe oraz czujnik zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 3.

- a) O ile prowadzący nie zaleci inaczej należy wyznaczyć 7 charakterystyk

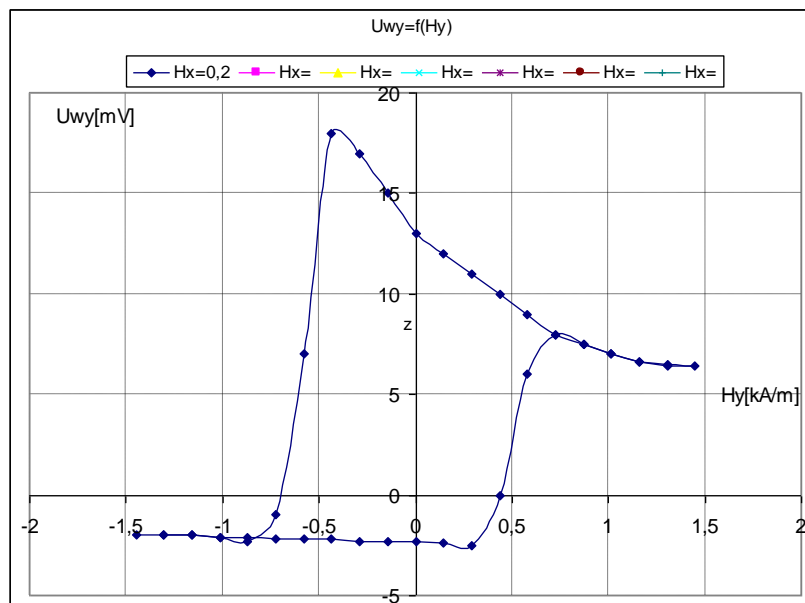
$U_{wy}=f(H_y)$ / $H_x=constans$ przy różnym natężeniu pola H_y ,

Uwaga: należy pamiętać o tym, aby nie wytwarzać pola magnetycznego o wartości większej niż $\pm 2\text{kA/m}$ (przekroczenie podanej wartości może spowodować rozmagnesowania czujnika)

- b) Wartość pola H_x można zmieniać od $-1,5\text{kA/m}$ do $+1,5\text{kA/m}$ (Regulacja natężenia pola H_x odbywa się poprzez zmianę prądu płynącego w cewkach „x”. W celu obliczenia pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki „x”, należy wartość płynącego prądu w

cewkach „x” pomnożyć przez współczynniki „Hx”. Wartość współczynniki dla odpowiednich cewek znajduje się na stelażu na którym są zamontowane cewki Helmholtza).

- c) Każda charakterystyka powinna składać się 40 punktów pomiarowych.
 - a. Po uzgodnieniu z prowadzącym część charakterystyk może zostać wyznaczona z pomocą rejestratora XY. W tym celu sygnał wyjściowy z czujnika musi zostać podłączony do wejścia Y rejestratora, natomiast wejście X musi zostać podany sygnał proporcjonalny do natężenia pola H_y , np.: napięcie na rezystorze R_y .
- d) Wartość pola H_y należy zmieniać od $-1,5\text{kA/m}$ do $+1,5\text{kA/m}$ (Regulacja natężenia pola H_y odbywa się poprzez zmianę prądu płynącego w cewkach „y”. W celu obliczenie pola magnetycznego wytwarzanego przez cewki „y”, należy wartość płynącego prądu w cewkach „y” pomnożyć przez współczynniki „Hy”. Wartość współczynniki dla odpowiednich cewek znajduje się na stelażu, na którym są zamontowane cewki Helmholtza).
- e) Aby poprawnie wyznaczyć charakterystykę należy wykonać serię pomiarów (20 punktów) gdy pole H_y jest zwiększane od wartości minimalnej do maksymalnej, oraz serię pomiarów (20 punktów) gdy pole H_y jest zmniejszane od wartości maksymalnej do minimalnej
- f) Wyniki pomiarów należy zapisać w protokole jak również w oprogramowaniu wspomagającym wykonanie ćwiczenia



Rys. 7. Przykładowa charakterystyka przetwarzania $U_{wy}=f(H_y)$ / $H_x=constans$ czujnika KMZ10B

Po wykonaniu pomiarów i wpisaniu ich do formularza, istnieje możliwość wydrukowania

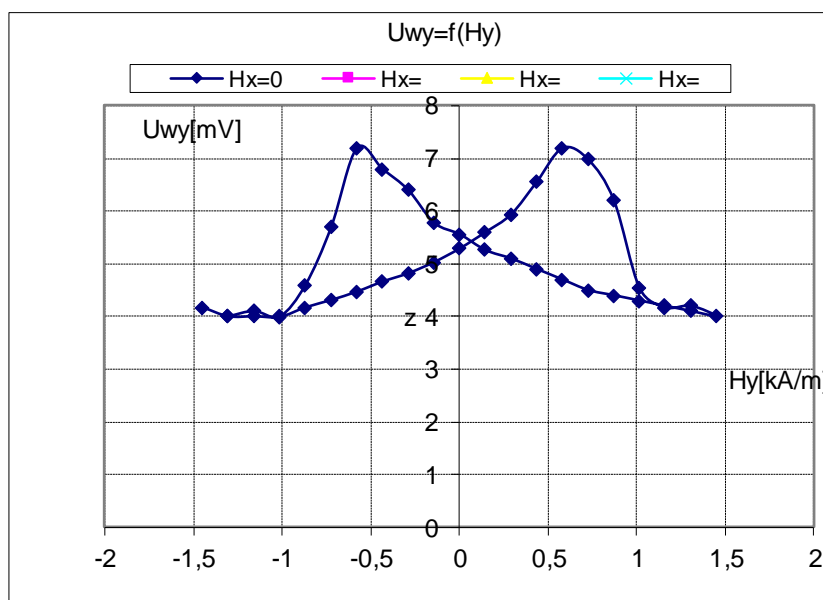
charakterystyki naciskając klawisz. Charakterystyka przedstawiona na rys. 7 jest typową rzeczywistą charakterystyką badanego czujnika.

Problemy:

1. Czy uzyskane charakterystyki są poprawne – jeśli nie, pomiary należy powtórzyć?
2. Dlaczego uzyskane charakterystyki odbiegają od charakterystyk idealnych?
3. Jakie informacje niosą powyższe charakterystyki co dzięki nim można określić?
4. W jaki sposób zmiany pola H_x wpływają na charakterystykę $U_{wy}=f(H_y)$?

2.4 Wyznaczenie Pola Magnetycznego Ziemi

Pomimo tego, że kierunek linii sił pola magnetycznego Ziemi jest znany, nie należy tego zakładać w pomiarach. W związku z tym do zmierzenia wartości powyższego pola nie możemy posłużyć się pojedynczym pomiarem. Prawidłowe wyznaczenie kierunku i wartości pola magnetycznego Ziemi sprowadza się do wykonania 3 pomiarów, z każdorazową zmianą położenia sensora.



Rys. 8. Charakterystyka $U_{wy}=f(H_y)| H_x=0$

Przed przystąpieniem do wykonania właściwych pomiarów należy dokonać niwelacji magnetycznych pól zakłócających. W tym celu należy doprowadzić do sytuacji, w której charakterystyka $U_{wy}=f(H_y)| H_x=0$ jest symetryczna względem osi OY. W tym celu należy:

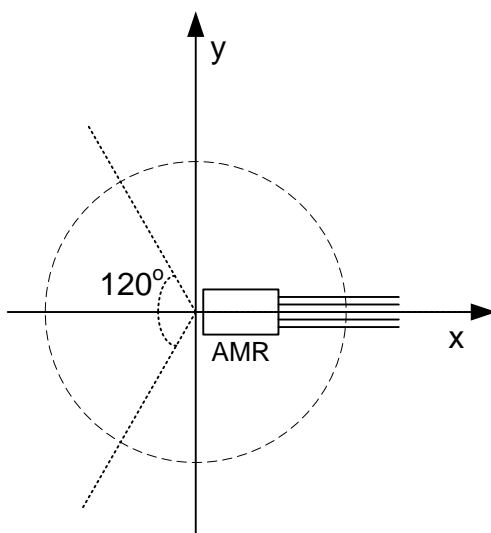
- Sprawdzić symetryczność charakterystyki (pomiary w poprzednim punkcie)
- W przypadku stwierdzenia niesymetryczności uzyskanej charakterystyki należy zasilić odpowiednim prądem cewki X_0 .

- Wartość prądu zasilającego cewki X_0 , należy wyznaczyć doświadczalnie poprzez każdorazowe wykreślenie (za pomocą rejestratora XY) i sprawdzenie symetryczność otrzymanej charakterystyki.

Przykładowa charakterystyka $U_{wy}=f(H_y)| H_x=0$ symetryczna względem osi OY przedstawiona jest na rysunku 8.

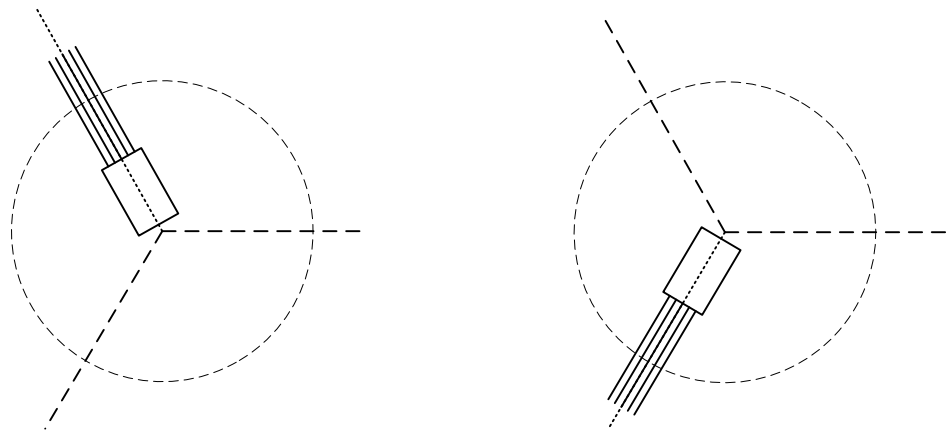
Po uzyskaniu symetrii charakterystyki $U_{wy}=f(H_y)| H_x=0$ należy

- Ustawić natężenie pola $H_y = 0$ (wyłączyć zasilacz zasilający cewki Y)
- Za pomocą pokrętki znajdującego się na statywie cewek Helmholtza ustawić badany magnetorezystor AMR w następujące położenia:
 - Położenie pierwsze - równoległe do osi OX (w celu uzyskania najmniejszego błędu należy za oś OX wybrać położenie, w którym osiągnąony jest maksymalny sygnał wyjściowy z badanego magnetorezystora AMR). Następnie zmierzyć wartość sygnału wyjściowego U_{H0}



Rys.9. Początkowe położenie magnetorezystora przy pomiarze pola magnetycznego Ziemi

- Położenie drugie – odchylone od wybranej osi OX o 120° zgodnie z rysunkiem a) Następnie zmierzyć wartość sygnału wyjściowego U_{H120}
- Położenie trzecie – odchylone od wybranej osi OX o 240° zgodnie z rysunkiem b), Następnie zmierzyć wartość sygnału wyjściowego U_{H240}

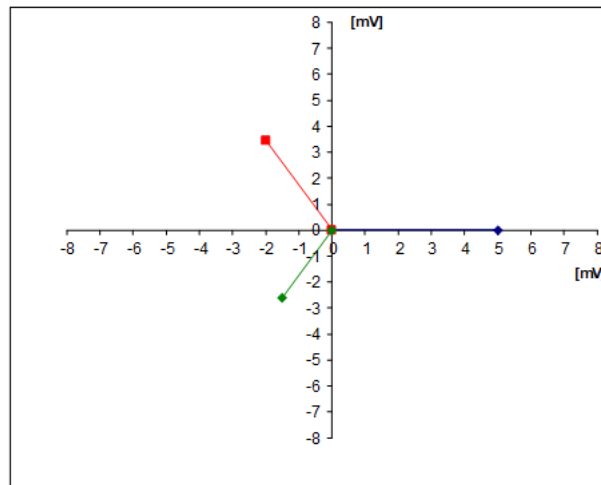


a) odchylenie 120°

b) odchylenie 240°

Rys.10 Położenia magnetorezystora AMR dopełniające rozetę magnetyczną przy pomiarze pola magnetycznego Ziemi

Zmierzone wartości wpisać do protokołu oraz do tabeli znajdującej się w panelu ułatwiającym wyznaczenie pola magnetycznego Ziemi. Uzupelnienie tabeli spowoduje automatyczne wyrysowanie zmierzonych wektorów w układzie współrzędnych, co zostanie przedstawione na wykresie przedstawionym na rysunku 11.



Rys. 11. Wykres wektorowy zmierzonych wartości pola magnetycznego Ziemi

Żeby obliczyć pole magnetyczne ziemi należy dodać wektory i obliczyć (długość) moduł wektora wypadkowego \mathbf{H}_z wartość ta przemnożona przez stałą przetwarzania s badanego sensora AMR da wartość pola Ziemi w badanych warunkach. Zwrot wypadkowego wektora będzie prostopadły do linii sił pola magnetycznego Ziemi. Moduł wypadkowego wektora \mathbf{H}_z (pola magnetycznego Ziemi) obliczany jest automatycznie. Zostanie to również zobrazowane na wykresie.

Zadania

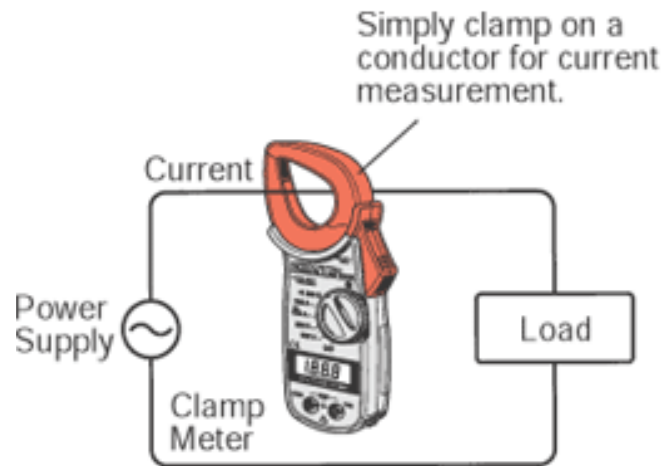
1. Obliczyć wartość pola Ziemskiego w badanych warunkach. Wynik podać w A/m oraz w μT pamiętając o zależności

$$100\mu T \rightarrow 79,6A/m$$

2. Oszacować zwrot pola magnetycznego Ziemi w przestrzeni (w sali laboratoryjnej).

2.5 Pomiar prądu miernikiem cęgowym

- a) W obwód powiązany z rezystorem Rx wpiąć miernik cęgowy Appa 30-R zgodnie z rysunkiem 12



Rys. 12. Układ do pomiaru prądu miernikiem cęgowym

- b) Wyznaczyć charakterystykę $I_{z1}=f(I_{z2})$ gdzie
 I_{z1} – prąd przepływający przez rezystor wzorcowy Rx
 I_{z2} – prąd odczytany z miernika cęgowego
- c) Sporządzić charakterystykę w arkuszu kalkulacyjnym, wydrukować zinterpretować

3. Sprawozdanie

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Schematy układów pomiarowych;
- Wyniki pomiarów;
- Wydrukowane charakterystyki;
- Odpowiedzi na pytania zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia.

Po wykonaniu sprawozdania należy wyłączyć przyrządy pomiarowe i komputer, oraz rozłączyć układ pomiarowy. Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.