

**Mirosław WOŁOSZYN, Kazimierz JAKUBIUK, Marek CHOMNICKI, Jacek ŁUBKOWSKI**  
POLITECHNIKA GDAŃSKA WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI,  
G.Narutowicza 11/12, 90-233 Gdańsk

## Zastosowanie układu GPS do synchronizacji magnetometrów skalarnych

**Dr hab. inż. Mirosław WOŁOSZYN**

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Specjalność naukowa elektrotechnika teoretyczna, elektrodynamika. Stopień doktora uzyskał w 1997 r., a doktora habilitowanego 2013 r. Adiunkt w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki. Zajmuje się projektowaniem i budową systemów magnetometrycznych.



e-mail: mwołosz@ely.pg.gda.pl

**Prof. dr hab. inż. Kazimierz JAKUBIUK**

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Specjalność naukowa elektrotechnika teoretyczna, aparaty elektryczne. Stopień doktora uzyskał w 1981 r., a doktora habilitowanego 1994 r. Profesor Politechniki Gdańskiej. Proroktor ds. rozwoju i jakości Politechniki Gdańskiej (2012-2016). Kierownik Katedry Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki.



e-mail: k.jakubiuk@ely.pg.gda.pl

**Mgr inż. Marek CHOMNICKI**

Absolwent Wydziału Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Gdańskiej. Specjalność naukowa informatyka. Pracownik Ośrodka Doświadczalnego Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Specjalizuje się w programowaniu mikrokontrolerów i w projektowaniu systemów pomiarowych pól magnetycznych i elektrycznych.



e-mail: m.chomnicki@ely.pg.gda.pl

**Mgr inż. Jacek ŁUBKOWSKI**

Absolwent Wydziału Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Gdańskiej. Specjalność naukowa informatyka. Pracownik Ośrodka Doświadczalnego Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej na stanowisku specjalisty. Zajmuje się programowaniem mikrokontrolerów oraz specjalistycznych programów pomiarowych.



e-mail: jaclubko@pg.gda.pl

### Streszczenie

W pracy przedstawiono zastosowanie układu GPS do synchronizacji pracy dwóch magnetometrów skalarnych. Pomiar słabych pól magnetycznych za pomocą magnetometrów pompowanych optycznie wymaga synchronizacji ich pracy. W przypadku zamontowania magnetometrów na jednej platformie synchronizację pracy magnetometrów można przeprowadzić za pomocą specjalnego kabla wykorzystując interfejs RS232. W sytuacji zamontowania magnetometrów na różnych platformach, synchronizację pomiaru można zapewnić stosując układ GPS. W pracy omówiono układ pomiarowy z dwoma magnetometrami skalarnymi oparty na układach GPS oraz przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych.

**Słowa kluczowe:** układ GPS, magnetometr skalarny, pole magnetyczne.

### Application of GPS to synchronization of scalar magnetometers

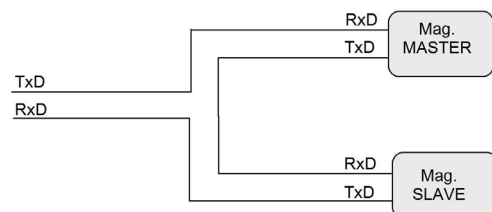
#### Abstract

The paper presents the use of the GPS to synchronize the operation of two scalar magnetometers. The measurement of weak magnetic fields with the optically pumped magnetometers, which measure the magnetic flux density (the so-called scalar magnetometers), needs to be synchronized. In the case of magnetometers mounted on one platform, synchronization of magnetometers can be performed by a special cable using RS232 interface, which provides the magnetometers work in series. This special cable connects two magnetometers in series, the first magnetometer (MASTER) sends data to the second magnetometer (SLAVE), which triggers its measurement, then both data combined are transferred to a PC. The measurement interval unit of magnetic flux density is small enough (order of several ms) to be omitted, it practically means that the work of two magnetometers is synchronized. In case of mounting two magnetometers on different platforms while measuring the magnetic flux density of a differential module, the measurement synchronization is provided by the GPS system. The paper discusses the measurement system with two scalar magnetometers based on GPS systems and presents the results of experimental studies.

**Keywords:** GPS device, scalar magnetometer, magnetic field.

### 1. Wprowadzenie

W detekcji ukrytych obiektów o właściwościach ferromagnetycznych oraz w badaniach geologicznych stosuje się m.in. precyzyjne magnetometry skalarne [1, 2]. Magnetometry te mierzą moduł indukcji magnetycznej Ziemi z czułością rzędu kilku pT/Hz<sup>0.5</sup> [3]. Biorąc pod uwagę występowanie, naturalnych, szybkich wariacji pola magnetycznego Ziemi, wykorzystanie dużej czułości magnetometrów wymaga zastosowania, co najmniej dwóch magnetometrów, pracujących synchronicznie w układzie różnicowym. W przypadku montażu magnetometrów pracujących w układzie różnicowym, na jednej mobilnej platformie, synchronizację ich pracy zapewnia zastosowanie specjalnego kabla RS232 (rys. 1) [3]. Odstępy czasowe pomiaru modułu indukcji magnetycznej z zastosowaniem dwóch magnetometrów wynoszą w takim rozwiązaniu zaledwie kilka ms. Montaż magnetometrów na dwóch niezależnych mobilnych platformach, wymaga zastosowania innej techniki synchronizacji pracy magnetometrów.



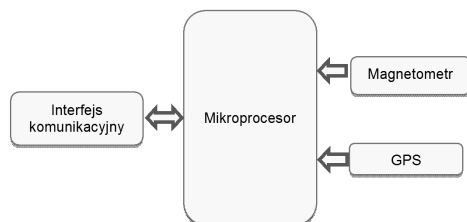
Rys. 1. Połączenie dwóch magnetometrów kablem RS232 do pracy synchronicznej  
Fig. 1. Connection of two magnetometers using RS232 cable for synchronous work

Dobrym rozwiązaniem tego zagadnienia jest zastosowanie dwóch modułów GPS, generujących sygnał z dokładnością do kilkunastu ns. Rozwiązanie takie stosowane jest w systemach magnetometrycznych, w których istnieje konieczność synchronizacji pracy przynajmniej dwóch magnetometrów (praca magnetometrów w układzie różnicowym) [4, 5, 6, 7]. Przykładem zastosowania modułu GPS do synchronizacji pracy magnetometrów są pomiary magnetyczne wykonywane na samolotach lub śmigłowcach w badaniach geologicznych. Magnetometr lub magnetometry zamontowane na statkach powietrznych są zsynchronizowane

z magnetometrem w stacji bazowej [6, 7]. Od wielu lat trwają również prace nad systemami magnetometrycznymi, w których wykorzystuje się precyzyjne magnetometry SQUID o czułości rzędu fT [8, 9, 10].

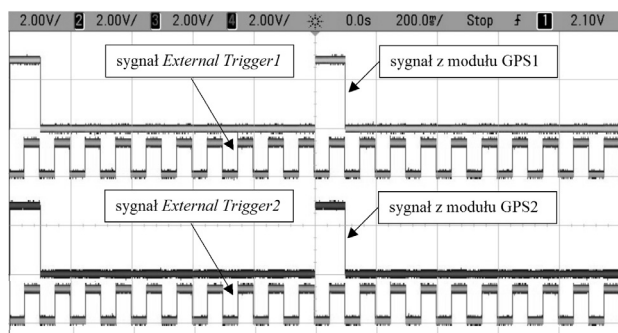
## 2. Opis układu synchronizacji magnetometrów

Na rys. 2 pokazano schemat blokowy układu synchronizacji pracy magnetometrów skalarnych G823A [3]. W układzie tym zastosowano moduł GPS GTPA013. Moduł ten generuje wzorcowy sygnał czasu rzeczywistego, co 1 sekundę (PPS), z dokładnością do 10 ns.



Rys. 2. Schemat budowy czujnika magnetycznego z układem synchronizującym  
Fig. 2. Block diagram of the magnetic sensor with a synchronization system

Sygnał ten wykorzystany został do generacji sygnału rozpoczynającego proces pomiaru częstotliwości przez magnetometr (w magnetometrze pompowanym optycznie mierzony moduł indukcji magnetycznej proporcjonalny jest do częstotliwości Larmora 3.498572 Hz/nT). W zastosowanym w układzie procesor typu STM32F207VET6, podczas startu systemu operacyjnego ustawiany zostaje zegar czasu rzeczywistego mikroprocesora (RTC - ang. RealTime Clock) synchronicznie z sygnałem modułu GPS. Procesor korzystając z zegara czasu rzeczywistego generuje sygnał o częstotliwości 10 Hz, który wysyłany jest do wejścia *External Trigger* magnetometru. Magnetometr po zmierzeniu częstotliwości Larmora wysyła do procesora wartość modułu indukcji magnetycznej. Procesor poprzez interfejs komunikacyjny przesyła tę wartość do komputera. Z uwagi na fakt, że po dłuższym czasie pracy dwóch bliźniaczych układów (kilka godzin), generowane sygnały do magnetometrów tracą synchronizację, wprowadzono cykliczną, (co 10 minut) synchronizację zegara czasu rzeczywistego procesora z sygnałem z modułu GPS. Na rys. 3 pokazano przebiegi sygnałów z dwóch modułów GPS i sygnałów z dwóch niezależnych układów synchronizacji pracy magnetometrów.

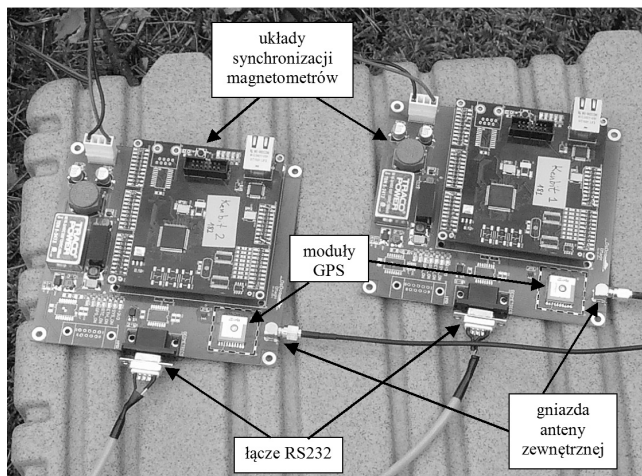


Rys. 3. Przebiegi czasowe sygnałów układu synchronizacji magnetometrów  
Fig. 3. Time signals of the synchronization system of the magnetometers

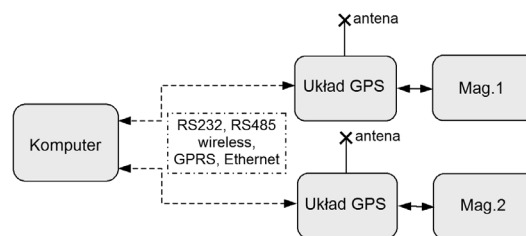
Na rys. 4 pokazano dwa układy synchronizacji magnetometrów podczas badań eksperymentalnych. Układy te pozwalają na pomiar różnicy modułów indukcji magnetycznej praktycznie dla dowolnej odległości między magnetometrami (rys. 5).

Sygnały z układów synchronizacji magnetometrów skalarnych mogą być przesyłane do komputera poprzez łącza RS232, RS485, Ethernet, GPRS lub z wykorzystaniem sieci bezprzewodowej. Do komputera przesyłany jest również aktualny czas odczytywany z modułu GPS. Dzięki temu w każdej paczce pomiarowej występuje

wartość modułu indukcji magnetycznej i rzeczywisty czas pomiaru sygnału z magnetometru. Program w komputerze zbierającym dane z dwóch magnetometrów, wybiera właściwe próbki sygnałów do wizualizacji różnicy modułów indukcji magnetycznej.



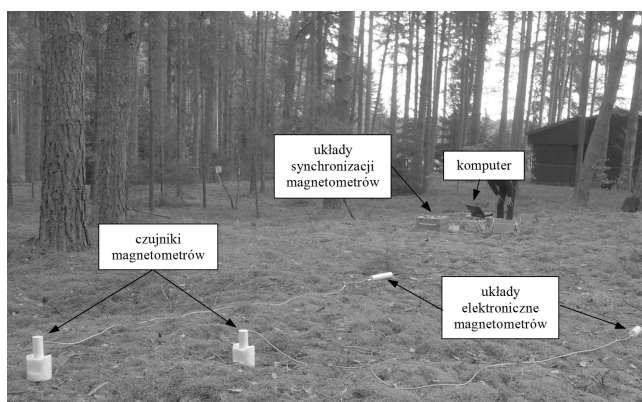
Rys. 4. Układy synchronizacji magnetometrów  
Fig. 4. Magnetometers synchronization devices



Rys. 5. Układ do pomiaru różnicy modułów indukcji magnetycznej  
Fig. 5. Diagram of the configuration measuring the difference of the magnetic flux density

## 3. Badania eksperymentalne

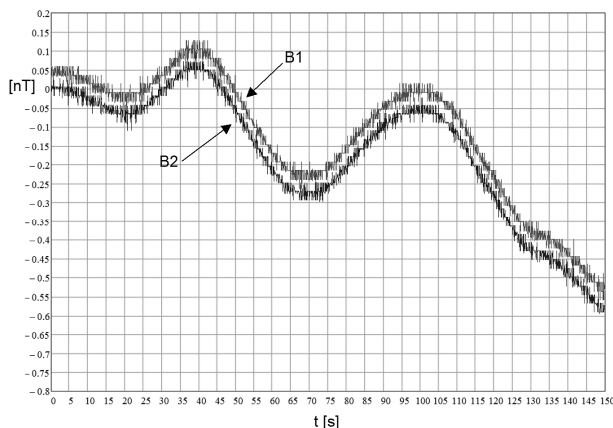
Badania eksperymentalne układu do pomiaru różnicy modułów indukcji magnetycznej przeprowadzono w lesie z dala od urządzeń elektrycznych. Czujniki magnetometrów umieszczono w podstawach z tworzywa sztucznego i położono na ziemi w odległości 1 m (rys. 6). Pozostałe elementy układu pomiarowego oddalono od czujników na odległość, zapewniającą brak ich wpływu na mierzone pole magnetyczne. Na rys. 7 pokazano zmiany modułów indukcji magnetycznej zmierzone za pomocą dwóch magnetometrów. W celu lepszej wizualizacji sygnałów wprowadzono dla jednego przebiegu przesunięcie zera równe 50 pT. Zmiany pola magnetycznego Ziemi w przedziale czasu 150 s wyniosły około 700 pT.



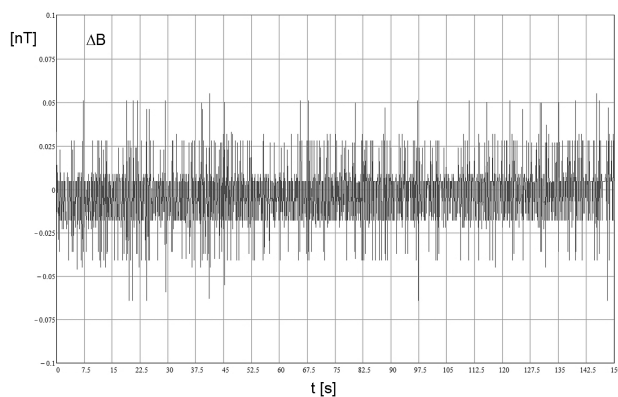
Rys. 6. Badania eksperymentalne układu  
Fig. 6. The experimental research of the device

Na rys. 8 pokazano przebieg zmian różnicy modułu indukcji magnetycznej. Przebieg jest zawiera szum na poziomie 100 pT pp.

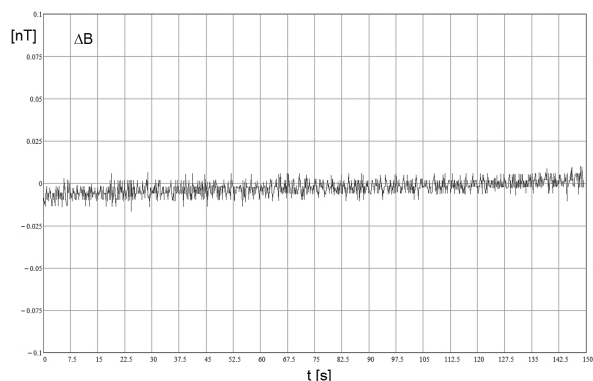
Na rys. 9 pokazano natomiast przebieg zmian sygnału z rys. 8 po zastosowaniu prostej filtracji cyfrowej (średnia z 6 próbek). Zmiany sygnału po filtracji cyfrowej wynoszą około 10 pT.



Rys. 7. Zmiany pola magnetycznego Ziemi  
Fig. 7. Changes of the Earth magnetic field



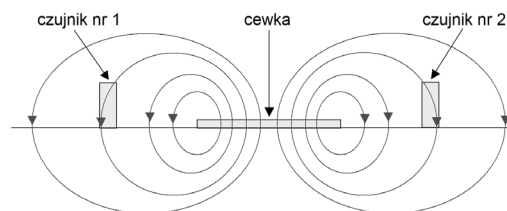
Rys. 8. Różnica modułów indukcji magnetycznej  
Fig. 8. The difference of the magnetic flux density



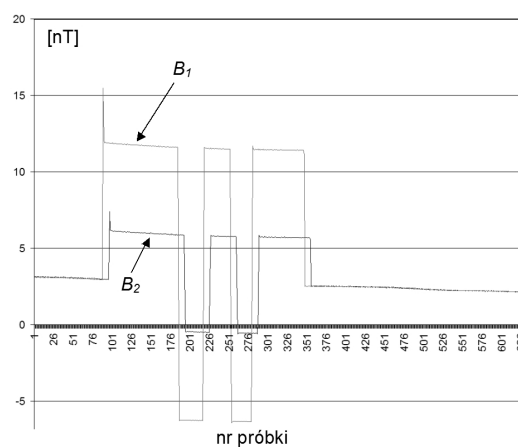
Rys. 9. Różnica modułów indukcji magnetycznej po filtracji cyfrowej  
Fig. 9. The difference of the magnetic flux density after digital filtering

Skuteczność synchronizacji pracy magnetometrów sprawdzono w prostym układzie pokazanym na rys. 10. Czujniki magnetometrów położono w jednej płaszczyźnie z cewką kołową. Cewkę podłączono poprzez żarówkę i łącznik z akumulatorem. Biegunowość prądu zmieniano ręcznie za pomocą łącznika. Na rys. 11 pokazano zmiany w czasie modułu indukcji magnetycznej mierzone za pomocą dwóch magnetometrów bez synchronizacji ich pracy. Natomiast na rys. 12 pokazano przebiegi sygnałów z synchronizacją pracy magnetometrów (przed pomiarem przesunięty

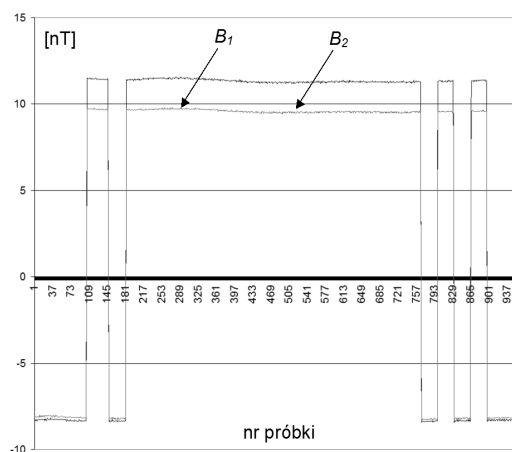
został jeden z czujników, co nie miało wpływu na jednoczesny pomiar sygnałów, a jedynie na ich różnicę).



Rys. 10. Układ do badania synchronicznej pracy magnetometrów  
Fig. 10. The system for testing synchronous operation of the magnetometers



Rys. 11. Pomiar bez synchronizacji  
Fig. 11. The measurement without synchronization



Rys. 12. Pomiar z synchronizacją  
Fig. 12. The measurement with synchronization

## 4. Wnioski

Pomiary słabych pól magnetycznych wymagają zastosowania, co najmniej dwóch magnetometrów pracujących w układzie różnicowym. W celu wykorzystania dużej czułości magnetometrów skalarnych niezbędne jest zapewnienie synchronicznej pracy magnetometrów. W przypadku pracy przyrządów na dwóch niezależnych platformach, synchronizację ich pracy można uzyskać stosując układ oparty na module GPS. Magnetometry pracują synchronicznie, a każdej próbie przypisany jest czas pomiaru. Pozwala to właściwą wizualizację zmian różnicy modułów indukcji magnetycznej, mimo występujących przesunięć czasowych sygnałów w interfejsie komunikacyjnym. Badania opracowanego układu synchronizacji pracy magnetometrów wykazały, że układ

pozwala zmniejszyć poziom szumu w pomiarze różnicowym do 10 pT. Badania wykazały również, że pomiary o tak wysokiej czułości wymagają stosowania materiałów z tworzyw sztucznych pozbawionych śladowych wtrąceń ferromagnetyka. Materiały wykorzystane do budowy platformy, w której umieszczono czujnik magnetometru poddawano specjalnemu procesowi wytrawiania chemicznego.

Praca została sfinansowana w ramach projektu NCBiR nr DOBR/0062/R/ID1/2012/03.

## 5. Literatura

- [1] Overway D., Clem T., Bono J., Purpura J., Allen G.: Evaluation of the Polatomic P-2000 Laser Pumped He-4 Magnetometer/Gradiometer. Oceans'02 MTS/IEEE vol.1, pp.952-960, 2002.
- [2] Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E.: Applied Geophysics. Cambridge University Press, New York 1990.
- [3] www.geometrics.com, 2014.
- [4] Detection of Pipelines using Sub-Audio Magnetics (SAM). www.gageo.com.
- [5] Young-Cheol L., Sung-Wook K., Eun-Kyeong Ch., In-Soo K.: Development of Geomagnetic Monitoring System Using a Magnetometer for the Field. Geophysical Research Abstract vol. 16, EGU2014-10084-1, 2014.
- [6] GSM-19 Instruction Manual, March 2008, www.gemsys.ca.
- [7] G-862RBS Cesium Base-Station, www.geometrics.com, 2014.
- [8] Katori Y., Okuba K. and all: Development of High Temperature Superconductor Based SQUID (HTS-SQUID) Magnetometer System for Super-sensitive Observation of Geomagnetic Field Changes. Geophysical Research Abstracts, vol. 15, EGU2013-8632-1, 2013.
- [9] Jun Lin: Geophysical instrumentation in China: A review of higher education and research. A review of higher education and research. The Leading Edge, 16(7), 1055-1058, 1997.
- [10] Stolz R., Chwala A., Zakosarenko V., Schultz M., Fritzsche L., Meyer H.: SQUID technology for geophysical exploration. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2006, pp.894-898, 2006.

otrzymano / received: 25.05.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.07.2014

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

www.energoelektronika.pl  
WORTAL BRANŻOWY



## Regionalne Seminaryja / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

06.02.2014 - Bielsko-Biała

13.03.2014 - Legnica

24.04.2014 - Ełk

22.05.2014 - Mielec

26.06.2014 - Zamość

02.10.2014 - Szczecin

20.11.2014 - Włocławek

11.12.2014 - Konin



Ilość miejsc  
ograniczona

Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: [marketing@energoelektronika.pl](mailto:marketing@energoelektronika.pl)

Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:

