

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПАСОВ В СЛОЖНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Д. А. АНТОНЕНКОВ

*Морской гидрофизический институт РАН, 299011, Севастополь, Россия
E-mail: dmitry_science@mail.ru*

Рассматриваются особенности работы прибора, предназначенного для определения положения в пространстве измерительного модуля параметров среды. Показан пример адаптации работы стандартных микроэлектронных компасов под конкретные условия. Описан принцип действия прибора, приведены его функциональная схема и алгоритм работы программного обеспечения. Прибор вычисляет синус и косинус угла между условной осью компаса и магнитным меридианом, формирует выходные сигналы в виде напряжения постоянного тока, эквивалентные этим значениям, что, в свою очередь, дает возможность получать определенные значения азимутального угла.

Ключевые слова: *электронный компас, прибор, микроконтроллер, положение в пространстве, измерительный модуль*

Важными элементами систем экологического мониторинга водной среды являются модули, предназначенные для измерения различных параметров среды. Для получения корректных данных измерительный модуль должен ориентироваться в пространстве определенным образом или иметь в своем составе прибор, позволяющий определять азимутальный угол.

В настоящее время широко используются экономичные и надежные устройства — микроэлектронные компасы (магнитометры): в смартфонах, планшетах, автомобилях, робототехнике и т.п. Зачастую они являются составной частью сложных навигационных систем, а в сочетании с акселерометром и/или гироскопом представляют собой инерциальную систему, способную точно определять местоположение в трехмерном пространстве.

Магнитометр представляет собой устройство для измерения интенсивности одной или нескольких составляющих магнитного поля. Сегодня на рынке широко предоставлены двух- и трехосевые электронные компасы в интегральном исполнении [1]. Принцип действия и управления магнитометрами детально описан в работах [2—4]. Однако алгоритм их работы, как правило, требует адаптации под конкретные условия; некоторые принципы настройки и калибровки описаны в работах [5, 6].

Цель настоящей статьи — показать особенности применения данных устройств, способы управления и обработки получаемой ими информации на примере разработки прибора, отвечающего за определение положения в пространстве измерительного модуля. В частности, разработанный в МГИ прибор используется в составе измерительного канала, предназначенного для определения пульсаций компонентов вектора скорости течения.

Магнитометр должен обеспечивать:

- 1) преобразование получаемых компасом цифровых значений азимутального угла φ в аналоговый вид и передачу в общую шину данных модуля,
- 2) для повышения достоверности получаемой информации — необходимую частоту измерений порядка 10 Гц, с последующим усреднением результатов.

На выходе микроэлектронного компаса выдается только код азимутального угла φ в цифровом виде, поэтому предложено использовать программное обеспечение микроконтроллера ATmega, для вычисления значения $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$, затем выполнить фильтрацию уже аналоговых

сигналов, получаемых на выходе контроллера, с применением фильтра низких частот, и далее вычислить среднее значение азимутального угла.

На базе микроэлектронного компаса НМС6352 производства фирмы Honeywell [7] разработан прибор, имеющий в составе двухосевой датчик магнитного поля (определяющий два его ортогональных компонента, а также электронику, вычисляющую и выдающую в последовательном коде значения угла между условной осью компаса и магнитным меридианом). Элементы НМС6352, электроника и программируемое оборудование размещены в корпусе $6,5 \times 6,5 \times 1,5$ мм [1]. НМС6352 содержит энергозависимую память RAM и энергонезависимую память EEPROM, в которой хранятся основные параметры и установки (могут быть изменены путем перепрограммирования).

Функциональная схема прибора, состоящая из магнитного компаса НМС6352, микроконтроллера ATmega 8-16AI [8], блока фильтрации и блока питания, представлена на рис. 1.

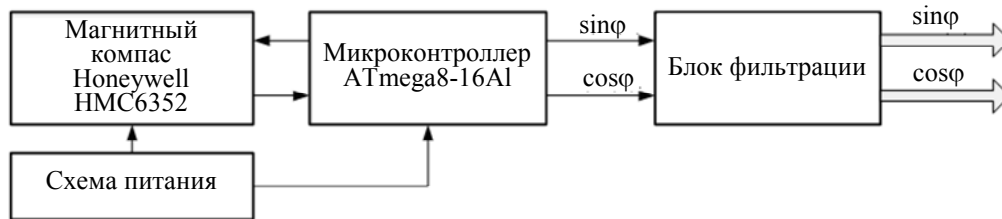


Рис. 1

Управление прибором осуществляется с использованием интерфейса на базе микроконтроллера Atmega 8-16AI. Разработанное программное обеспечение предназначено для управления микроэлектронным компасом, вычисления $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$, преобразования в ШИМ-сигнал (импульсы напряжения с изменяющейся длительностью). Для усреднения $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ применяются два активных фильтра низкой частоты на выходе.

Микроконтроллер осуществляет управление компасом по двухпроводной шине с протоколом I2C путем калибровки для коррекции магнитного смещения и коэффициентов масштабирования, а также инициализации измерения значения азимутального угла. После получения команды от микроконтроллера измеряются компоненты магнитного поля, вычисляется угол, записывается в память его значение и данные по протоколу I2C передаются в микроконтроллер. Алгоритм работы программы приведен на рис. 2.

По полученным данным вычисляются значения $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$ и преобразуются в два ШИМ-сигнала со средним значением напряжения, пропорциональным $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$.

Моделирование и отладка программы проводились в среде PROTEUS7. Для тестирования работы программы в качестве исходных данных был взят ряд значений углов от 0 до 360° с шагом $1,5^\circ$. На рис. 3 приведено синтезированное изображение выходных сигналов. Для наглядного отображения импульсов в верхней части рисунка изменен временной масштаб. В нижней части приведено напряжение постоянного тока, соответствующее значениям синуса и косинуса измеренного угла после фильтрации.

Испытания работоспособности прибора проводились следующим образом:

- 1) выполнялась автокалибровка, для чего на установленный на плоской поверхности компас подавалась команда „Начать калибровку“;
- 2) компас дважды поворачивали вокруг оси за время порядка 1 мин, затем подавалась команда „Завершить калибровку“.

В результате автокалибровки в память компаса записывались коэффициенты, характеризующие передаточную функцию прибора. На рис. 4 приведена его передаточная характеристика. Коэффициент достоверности аппроксимации R^2 близок к единице, что свидетельствует о высокой точности работы устройства. Погрешность его измерения соответствует погрешности микроэлектронного компаса $2,5^\circ$.

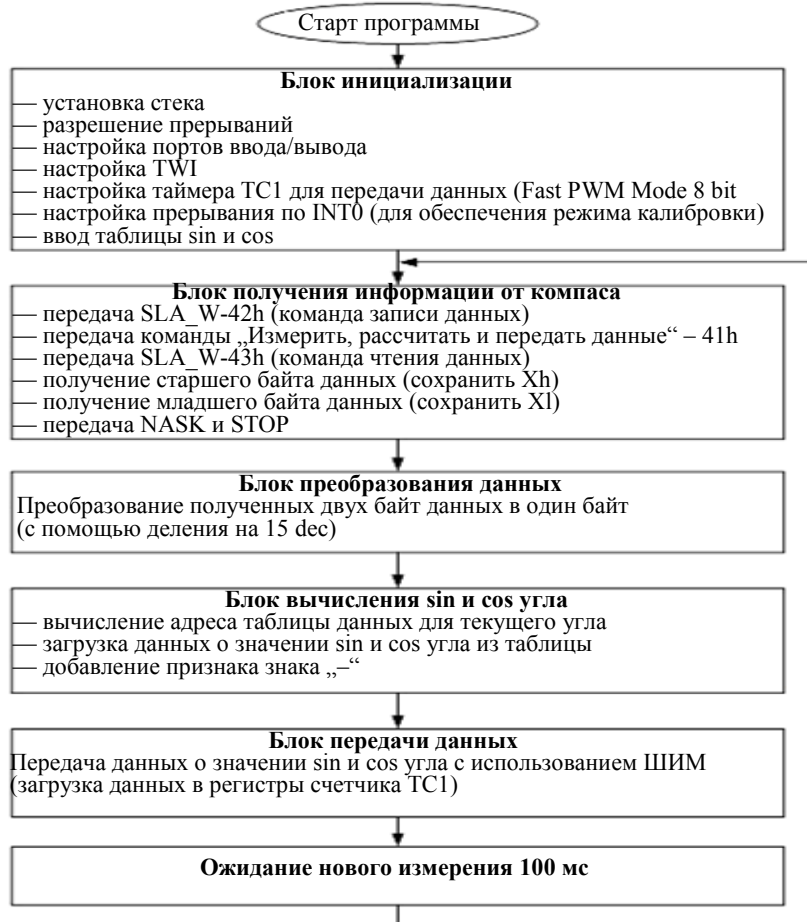


Рис. 2

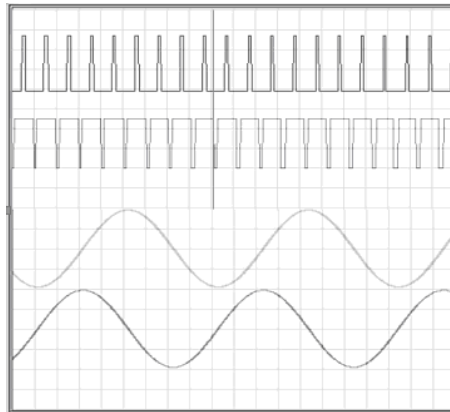


Рис. 3

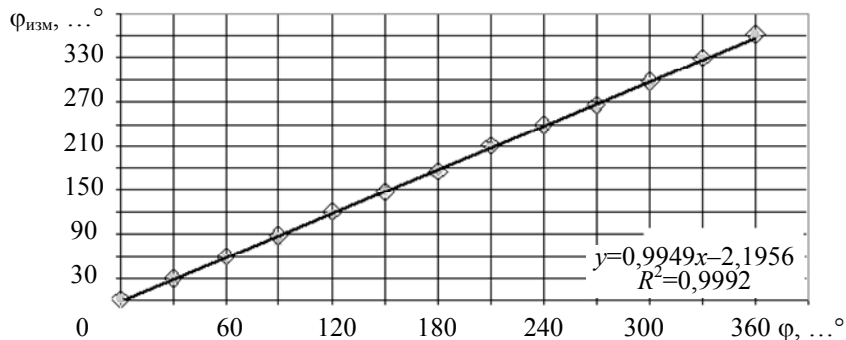


Рис. 4

Таким образом, разработанный прибор позволяет получить необходимые данные для определения положения измерительного модуля относительно магнитного меридиана.

В частности, прибор реализует аппаратное вычисление значений синуса и косинуса угла между условной осью компаса и магнитным меридианом и формирует выходные сигналы в виде напряжения постоянного тока, эквивалентные этим значениям, что, в свою очередь, дает возможность получать осредненные значения азимутального угла.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2019-0004 „Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем прибрежных зон Черного и Азовского морей“.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русских М. Магнитометры: принцип действия, компенсация ошибка // Радиолоцман. 2012. С. 31—39.
2. Caruso M. J. Applications of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems // Honeywell Solid State Electronics Center. 2004. P. 1—8.
3. Воронов В. В., Григорьев Н. Н., Яловенко А. В. Магнитные компасы. Теория, конструкция и девиационные работы. СПб: Элмор, 2004. 192 с.
4. Caruso M. J. Applications of Magnetoresistive Sensors in Navigation Systems // Honeywell Solid State Electronics Center. 2005. P. 3—4.
5. Cho S. Y. A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices // ETRI Journal. 2005. Vol. 27, N 3.
6. Withanawasam L. S. Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors: [Sensor Products Datasheet] // Honeywell SolidState Electronics Center. 2005. P. 3—11.
7. Digital Compass Solution HMC6352 [Электронный ресурс]: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/HMC6352.pdf>>. (дата обращения 20.03.2019).
8. ATMEGA8-16AI Datasheet (PDF) — ATMEL Corporation [Электронный ресурс]: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/171440/ATMEL/ATMEGA8-16AI.html>>. (дата обращения 20.03.2019).

Сведения об авторе

Дмитрий Александрович Антоненков — канд. техн. наук; Морской гидрофизический институт РАН, отдел гидрофизики шельфа; E-mail: dmitry_science@mail.ru

Поступила в редакцию
21.08.19 г.

Ссылка для цитирования: Антоненков Д. А. Особенности применения микроэлектронных компасов в сложных навигационных системах // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 12. С. 1087—1091.

SPECIFIC OF USING MICROELECTRONIC COMPASSES IN COMPLEX NAVIGATION SYSTEMS

D. A. Antonenkov

Marine Hydrophysical Institute of the RAS, 299011, Sevastopol, Russia
E-mail: dmitry_science@mail.ru

Features of a device designed to determine the position of environmental parameters measuring module are considered. An example of adapting the standard microelectronic compasses operation to specific conditions is demonstrated. Principle of the device operation is described, the device functional diagram and software operation algorithm are presented. The device calculates the sine and cosine of the angle between the conditional axis of the compass and the magnetic meridian, generates output signals in the form of DC voltage equivalent to these values, and thus makes it possible to derive the azimuthal angle values.

Keywords: electronic compass, device, microcontroller, position in space, measuring module

REFERENCES

1. Russkikh M. *Radiolotsman*, 2012, pp. 31–39. (in Russ.)
2. Caruso M.J. *Honeywell Solid State Electronics Center*, 2004, pp. 1–8.
3. Voronov V.V., Grigor'yev N.N., Yalovenko A.V. *Magnitnyye kompasy. Teoriya, konstruktsiya i deviationnyye raboty* (Magnetic Compasses. Theory, Construction and Deviation Work), St. Petersburg, 2004, 192 p. (in Russ.)
4. Caruso M.J. *Honeywell Solid State Electronics Center*, 2005, pp. 3–4.
5. Cho S.Y. *ETRI Journal*, 2005, no. 3(27).
6. Withanawasam L.S. *Vehicle Detection and Compass Applications using AMR Magnetic Sensors: Sensor Products Datasheet*, Honeywell SolidState Electronics Center, 2005, pp. 3–11.
7. *Digital Compass Solution HMC6352*, <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/HMC6352.pdf>.
8. *ATMEGA8-16AI Datasheet (PDF) - ATMEL Corporation*, <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/171440/ATMEL/ATMEGA8-16AI.html>

Data on author**Dmitry A. Antonenkov**— PhD; Marine Hydrophysical Institute of the RAS, Department of Shelf Hydrophysics; E-mail: dmitry_science@mail.ru

For citation: Antonenkov D. A. Specific of using microelectronic compasses in complex navigation systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 12. P. 1087—1091 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-12-1087-1091