

Михаил Бараночников
г. Москва
E-mail: baranochnikov@mail.ru

В последнее время в печати появились материалы об электронном компасе. Как правило, эти материалы предполагают использование в таких приборах магниторезистивных датчиков магнитного поля [2, 4, 5].

Ниже предлагается рассмотреть отдельные вопросы создания электронного компаса с применением магниточувствительных интегральных схем, именуемых в зарубежной печати "схемами Холла". Такие схемы сегодня доступны для радиолюбителей, проживающих в странах СНГ [1, 3].

Несколько слов об электронном компасе

В настоящее время для определения координат относительно сторон света используются различные навигационные приборы и оборудование. К таким приборам относятся: магнитный и радиокompас, радиополукомпас, гирокомпас и гирополукомпас, приемники системы GPS и др. Каждому из этих приборов присущи как определенные преимущества, так и очевидные недостатки.

Следует отметить, что ни один из известных навигационных приборов не может обеспечить точного определения азимута во всех районах Земли при любой погоде, различных состояниях магнитосферы и радиопомехах.

Точное определение положения объектов на поверхности Земли и в пространстве представляет собой достаточно сложную техническую задачу, которая решается при помощи магнитометрических систем контроля пространственного положения (МСКПП) с учетом многих факторов.

В связи с этим в морском деле, в авиации, в военном деле применяют совместно компасы различных типов, и на их основе созданы единые (комплексные) курсовые системы.

Однако, в "бытовых целях" наибольшее распространение получили устройства, предназначенных для регистрации магнитного поля Земли (МПЗ) и ориентирования различной аппаратуры на плоскости и в пространстве относительно направления МПЗ.

Наиболее распространенными и доступными (по стоимости) для "обычного пользователя" являются устройства, использующие принцип магнитного компаса.

Немного теории

Для понимания принципов ориентирования по магнитному полю Земли ниже приведем некоторые основные понятия и принципы.

Магнитное поле Земли

Магнитное поле Земли (часто называемое еще и геомагнитным – ГМП) в каждой точке пространства характеризуется вектором напряженности **T**, направление которого определяется тремя составляющими **X**, **Y**, **Z** (северной, восточной и вертикальной составляющей) в прямоугольной системе координат (рис. 1), или тремя элементами Земли: горизонтальной составляющей напряженности **H**, магнитным склонением **D** (угол между **H** и плоскостью географического меридиана) и магнитным наклонением **I** (угол между **T** и плоскостью горизонта).

Для изучения пространственного распределения основного геомагнитного поля, измеренные в разных местах значения **H**, **D**, **I** наносят на специальные карты (которые носят наименование магнитных карт Земли) и соединяют линиями точки равных значений элементов. Такие линии называют соответственно изодинамами, изогонами, изоклинами.

Линия (изоклина) **I** = 0, т.е. магнитный экватор, не совпадает с географическим экватором. С увеличением широты значение **I** возрастает до 90° в магнитных полюсах.

Полная напряженность **T** от экватора к полюсу растет от 33,4 до 55,7 А/м (от 0,42 до 0,7 э или от 42 до 70 мкТл).

Ось центрального диполя не совпадает с осью вращения Земли. Северный магнитный полюс расположен в Гренландии близ города Туле (78° северной широты, 69° западной долготы), а южный магнитный полюс расположен в Антарктиде (78° северной широты, 249° западной долготы). Таким образом, магнитная ось наклонена на 12° к оси вращения Земли.

Следует отметить, что понятие "северный магнитный полюс" и "северный магнетизм", как и "южный магнитный полюс" и "южный магнетизм" не совпадают. Северный магнитный полюс Земли включает понятие южного магнетизма, а южный магнитный полюс – северного.

Материковое магнитное поле Земли имеет среднюю напряженность **H** около 0,45 э. Однако на земном шаре существуют области магнитных аномалий, где напряженность магнитного поля может превышать среднюю в 2-3 раза. Обычно сильные магнитные аномалии связываются с залежами магнетитовых (FeO, Fe₂O₃) и титаномагнетитовых (примеси TiO₂) руд, с залежами других пород, обогащенных магнетитом, с некоторыми пирроксидовыми (FeS) месторождениями. Приметами таких аномалий являются Кривой Рог, Кольские аномалии, аномалии на Урале и т.п.

Наиболее сильной аномалией на земном шаре является аномалия в районе г. Курска и г. Белгорода, получившая наименование Курской магнитной аномалии (КМА). Напряженность поля КМА (вертикальная составляющая) достигает здесь 1,5...1,91 э (150...190 мкТл). Эта аномалия объясняется наличием большого рудного тела под поверхностью Земли.

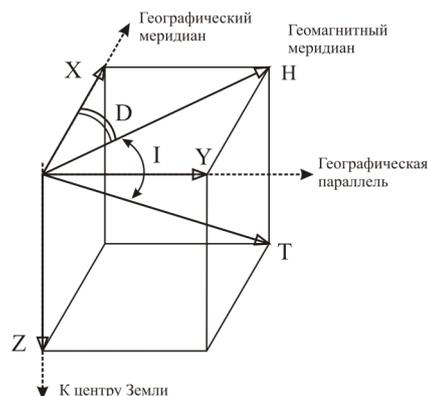


Рис. 1. Составляющие магнитного поля Земли

Наиболее известным применением явления земного магнетизма является компас, изобретенный в Китае более 2000 лет тому назад, который начал использоваться примерно в XII веке. Принцип действия компаса основан на взаимодействии магнитного поля постоянных магнитов компаса с горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Простейший компас представляет собой круглую коробку из немагнитного материала, в центре которой располагается магнитная стрелка, установленная на остром основании (например, на игле). Свободно вращающаяся магнитная стрелка поворачивается вокруг оси, располагаясь вдоль силовых линий магнитного поля. Таким образом, стрелка всегда указывает одним из концов в направлении Северного магнитного полюса.

Для определения азимута компас должен находиться в строго горизонтальном положении.

Точность определения направления (или азимута) простым компасом составляет 3...5°. Точность современных судовых магнитных компасов в средних широтах и при отсутствии качки достигает 0,3...0,5°.

К недостаткам магнитного компаса относится необходимость внесения поправки в его показания на несовпадение магнитного и географического меридианов (поправка на магнитное склонение) и поправки на девиацию (вращение Земли).

Вблизи магнитных полюсов Земли и крупных магнитных аномалий точность показаний магнитного компаса резко снижается, в этих районах приходится пользоваться навигационными приборами других типов [1].

В связи с бурным развитием микромагнетизма в последнее время широкое распространение получили т.н. электронные компасы.

Электронные компасы имеют массу преимуществ перед традиционными (стрелочными). Они вибрационноустойчивы, к тому же конструкции современных компасов предусматривают: возможность введения местоположения пользователя,

установку магнитного склонения, автоматическую компенсацию при воздействии внешних полей, установку маршрута и его запись, прямой интерфейс с электронной системой навигации и т.д.

Точность определения азимута электронным компасом может достигать 0,1°.

В таких приборах роль "магнитной стрелки" выполняет преобразователь магнитного поля.

Принципы определения направления вектора МПЗ

На практике определение направления вектора магнитного поля Земли (H) сводится к измерению напряженности двух его составляющих H_x и H_y (рис. 2) с дальнейшим вычислением угла ϕ .

Угол ϕ , в общем случае, определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{H_y}{H_x} = \frac{H \times \sin \phi}{H \times \cos \phi} \quad (1)$$

$$\text{Угол } \phi = \operatorname{arctg} \phi$$

Следует отметить, что значения напряженности магнитного поля, определенные преобразователем (датчиком) МП, могут колебаться как по амплитуде (ΔH), так и по постоянной составляющей (H_{y0} и H_{x0}).

С учетом этого уравнение (1) принимает следующий вид (2) (см. врезку).

Так как абсолютные значения синуса и косинуса угла ϕ^* равны при 45°, то вычисления производят только в этой области. Если предположить, что погрешность измерения H составляет 1%, то при угле 45 градусов получают максимальное отклонение 1,1 градуса.

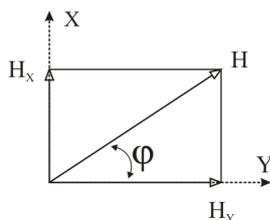


Рис. 2. Разложение вектора магнитного поля Земли на составляющие

Для достижения необходимой точности при определении направления менее 1% в работе [2] были сформулированы следующие основные требования к измерительной системе, предназначенной для определения вектора МПЗ:

- ♦ Должны использоваться, как минимум, два датчика МПЗ. При этом их магниточувствительные элементы располагаются перпендикулярно друг к другу. Один датчик МП регистрирует H_x , другой H_y .
- ♦ Диапазон измерений должен составлять от 20 до 100А/м (от 0,25 до 1,25 гс или от 25 до 125 мкТл).
- ♦ Отклонение амплитуды смещения не должно превышать 1% от максимального значения.

Структурная схема электронного компаса

В последние годы на отечественном рынке появилось достаточно много моделей электронных компасов, выпускаемых зарубежными производителями. Эти модели имеют различные характеристики, различный набор функций и различное конструктивное оформление. Стоимость таких устройств составляет от 20 до 1000 USD.

В зависимости от назначения структурные и электрические схемы электронных компасов могут быть весьма разнообразными. Однако все они содержат некоторые общие узлы и блоки. Возможный вариант структурной схемы электронного компаса приведен на рис. 3.

Структурная схема электронного компаса содержит следующие основные узлы и блоки:

- ♦ Два канала для измерения напряженности МПЗ по осям X и Y.
- ♦ Канал определения угла наклона устройства.
- ♦ Микропроцессор
- ♦ Блок ввода местоположения пользователя.
- ♦ Блок памяти.
- ♦ Интерфейс.
- ♦ Графический и (или) цифровой индикаторы.
- ♦ Стабилизированный источник питания.

$$\operatorname{tg} \phi^* = \frac{H \times \sin \phi + H_{y0}}{(H + \Delta H) \times \cos \phi + H_{x0}} = \frac{\sin \phi + \frac{H_{y0}}{H}}{\left(1 + \frac{\Delta H}{H}\right) \times \cos \phi + \frac{H_{x0}}{H}} \quad (2)$$

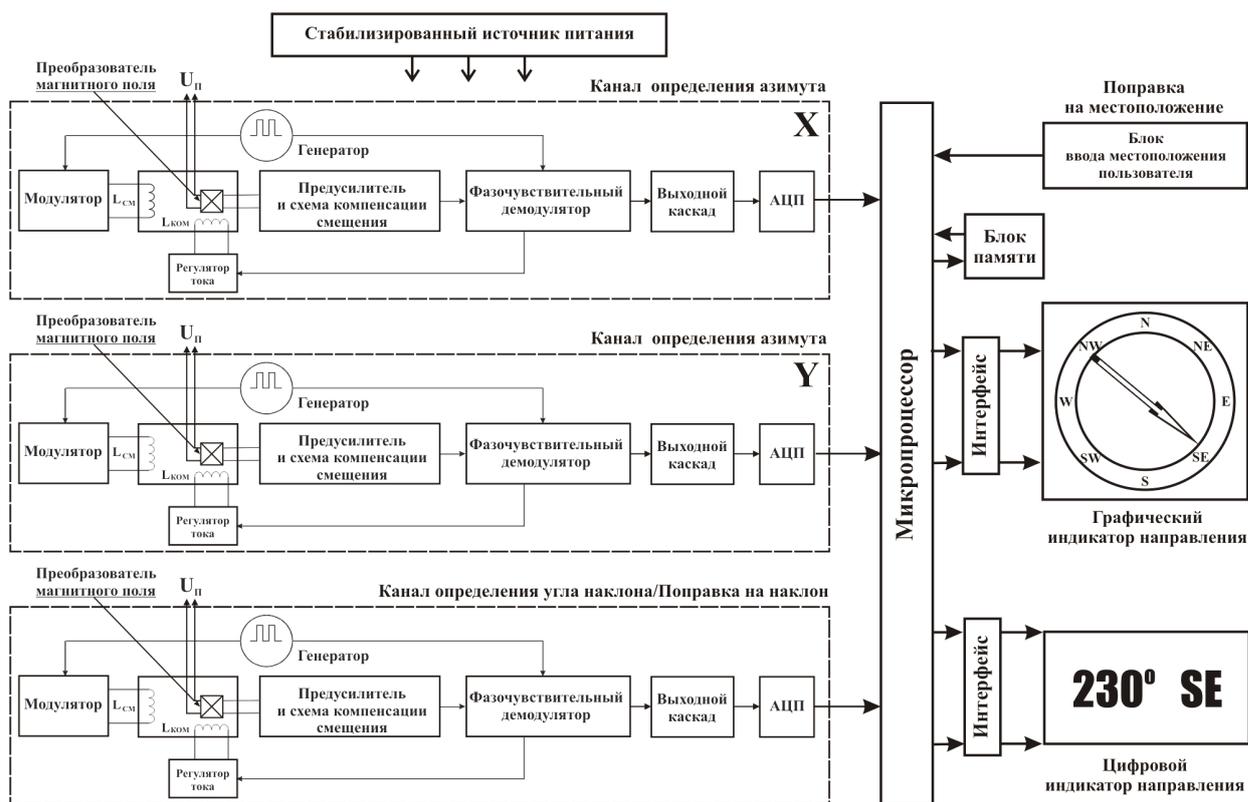


Рис. 3. Возможный вариант структурной схемы электронного компаса.

Назначение основных узлов и блоков

Каналы определения азимута. Представляют собой измерители напряженности магнитного поля Земли по осям X и Y. Выходной сигнал каждого канала выдается через АЦП в цифровой форме и поступает в микропроцессор. Конструктивно каналы могут быть реализованы в виде ИМС.

Канал определения угла наклона.

Представляет собой устройство, определяющее угол наклона устройства относительно Земли. Задача данного канала заключается в выработке специальной поправки в данные канала определения азимута, при углах наклона до ±45° относительно Земли. Выходной сигнал данного канала выдается через АЦП в цифровой форме и поступает в микропроцессор. Конструктивно канал может быть реализован в виде ИМС.

Микропроцессор служит для обработки сигналов, поступающих с каналов определения азимута и угла наклона, выработки соответствующих поправок и передаче выходных данных, через интерфейс, на графический и цифровой индикаторы направления. Обычно реализуется в виде БИС.

Блок ввода местоположения пользователя. Предназначен для ручного (“клавиатурного”) ввода информации о местоположении (например, страны или города)

пользователя. Сигнал с этого блока поступает в микропроцессор, где сравнивается с фиксированной информацией о местоположении стран и городов, хранящейся в блоке памяти.

Блок памяти. Энергонезависимое электронное устройство, предназначенное для хранения сведений о географических координатах стран и городов. Может хранить данные о 500 и более объектах.

Интерфейс или блок сопряжения. Представляет собой электронное устройство, преобразующее выходной сигнал микропроцессора в форму, необходимую для работы графического и цифрового индикаторов.

Основную проблему при разработке электронных компасов составляет оптимальный выбор типа датчика или преобразователя магнитного поля (ПМП).

В качестве датчиков МП в таких устройствах могут использоваться различные типы преобразователей магнитного поля: магниторезисторы, высокочувствительные элементы Холла, магнитодиоды и магнитотранзисторы, магниточувствительные интегральные схемы, миниатюрные индуктивные и феррозондовые датчики и т.п.

Выбор типа ПМП осуществляется с учетом требуемых параметров и характеристик разрабатываемой аппаратуры, условий ее эксплуатации и целого ряда экономических факторов. Основное требование, предъявляемое к ПМП, предназначенных для этих целей, – это высокая и явно выраженная координатная магнитная чувствительность [1].

В настоящее время наиболее широкое применение в составе электронных компасов получили тонкопленочные магниторезисторы и миниатюрные индуктивные датчики МП. Принцип действия таких устройств рассматривается в работах [1, 2, 4, 5].

Следует отметить, что разработка современного электронного компаса в “домашних условиях” представляет собой достаточно сложную задачу даже для квалифицированного радиолюбителя. Однако, для понимания принципов работы и оценки возможностей подобных приборов, ниже рассматриваются два простейших варианта “электронного компаса”, реализованных с применением магниточувствительной ИС, построенной с использованием элемента Холла.

 (Продолжение в №3/2006)