

Михаил Бараночников
г. Москва

Несколько слов об электронном компасе

Продолжение. Начало в №2/2006

Электронный компас – магнитометр

Электронный компас – магнитометр представляет собой одноканальный измеритель магнитного поля Земли. Структурная схема устройства приведена на **рис. 4**. Рассмотрим принцип работы.

Магнитное поле Земли регистрируется сенсорной головкой. Выходной сигнал с сенсорной головки поступает на АЦП (DA3) и два индикатора уровня сигнала (DA4 и DA5).

Сигнал с АЦП поступает на ЖК-индикатор (HG1). Питание элементов схемы осуществляется от встроенного источника (DA6, DA7). Возможная схема источника питания приведена ниже.

Все элементы структурной схемы (**рис. 4**) используются в типовом включении [3, 7, 8, 9, 10]. Микросхема АЦП K572ПВ5 (DA3) включается по типовой схеме с диапазоном измерений ± 1 В. К выходу микросхемы DA3 подключен ЖК-индикатор типа ИЖЦ5-4/7 [6].

Основным элементом данного устройства является сенсорная головка. Схематическое устройство сенсорной головки приведено на **рис. 5а**, внешний вид – на **рис. 5б**.

В качестве преобразователя магнитного поля в сенсорной головке используется магниточувствительная интегральная схема (DA1), которая размещается в “окне” печатной платы между двумя концентраторами магнитного поля. Концентраторы используются для повышения координатной чувствительности устройства.

В качестве концентраторов используются два ферритовых стержня ($\mu = 2000$), диаметром 4 мм и длиной 40 мм. Стержни помещены в

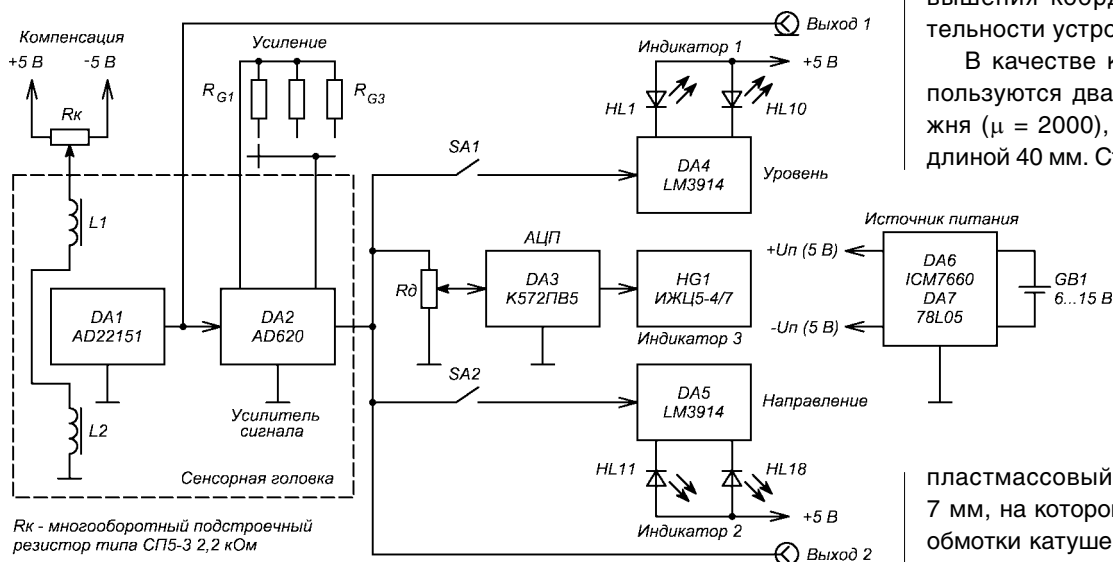
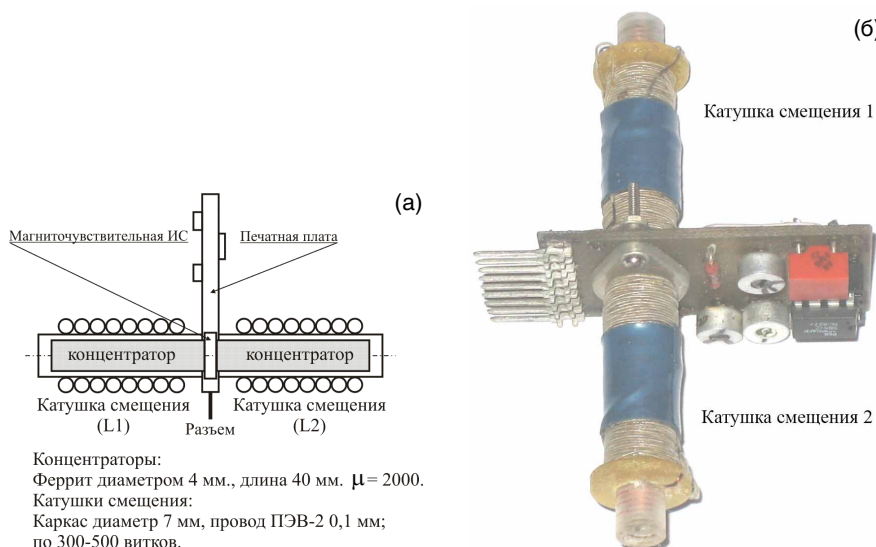


Рис. 4. Структурная схема электронного компаса-магнитометра



Концентраторы:
Феррит диаметр 4 мм., длина 40 мм. $\mu = 2000$.
Катушки смещения:
Каркас диаметр 7 мм, провод ПЭВ-2 0,1 мм;
по 300-500 витков.

Рис. 5. Схематическое устройство (а) и внешний вид (б) сенсорной головки

пластмассовый каркас диаметром 7 мм, на котором размещаются две обмотки катушек (L1 и L2), которые и служат для компенсации “паразитных” магнитных полей.

Принципиальная электрическая схема сенсорной головки приведена на **рис. 6**.

В сенсорной головке используется магниточувствительная ИС (DA1) с регулируемой чувствительностью, типа AD22151 фирмы Analog Devices. В состав микросхемы входят: элемент Холла, регулируемый усилитель сигнала, схема компенсации остаточного напряжения и схема термостабилизации. Микросхема размещена в миниатюрном пластмассовом корпусе типа SOIC с габаритными размерами 4x5x1,75 мм [3, 7].

При отсутствии магнитного поля ($B = 0$) сигнал на выходе микросхемы равен половине напряжения источника питания, $U_{\text{вых0}} = U_{\text{п}}/2$.

При коэффициенте усиления, равном 1, магнитная чувствительность (S_U) микросхемы равняется 4 мВ/мТл. Требуемый коэффициент усиления (K_{yc}) микросхемы AD22151 устанавливается номиналом резисторов R2 и R3 и определяется по формуле:

$$K_{yc} = 1 + R3/R2 \quad (3)$$

При этом ее магнитная чувствительность S_U при $K_{yc} > 1$ будет соответственно равна:

$$S_U = [1 + R3/R2] \times 4 \text{ мВ/мТл} \quad (4)$$

При отсутствии микросхемы AD22151 можно использовать магниточувствительные ИС других типов. Например, серии SS490 фирмы Honeywell, A3507, A3508 фирмы Allegro MicroSystems и др. [3].

В качестве усилителя сигнала (DA2) в сенсорной головке используется ИС инструментального усилителя типа AD620 фирмы Analog Devices. Коэффициент усиления

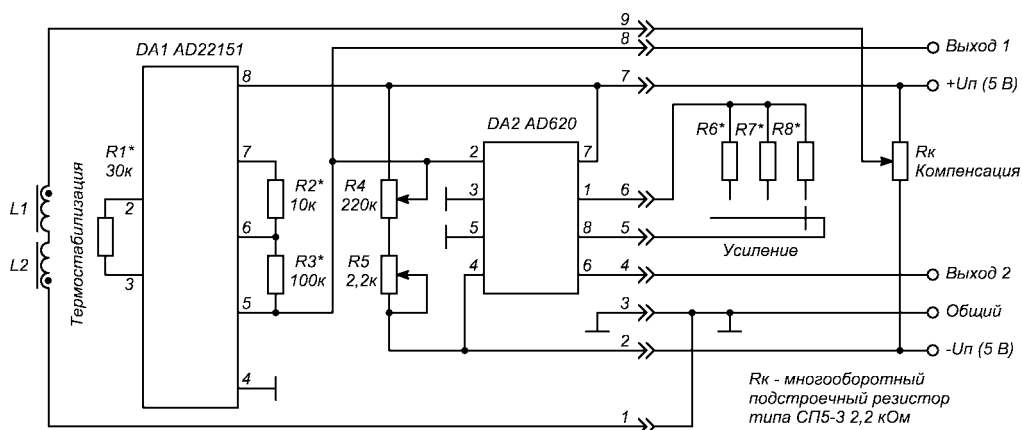


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная сенсорной головки

микросхемы (DA2) определяется номиналом резистора R_G и рассчитывается по формулам 5 и 6 [8]:

$$K_{yc} = \frac{49,4k}{R_G} - 1 \quad (5)$$

$$R_G = \frac{49,4k}{K_{yc} - 1} \quad (6)$$

Рассчитанные номиналы резисторов ($R6...R8$), определяющие коэффициент усиления, приведены в таблице 1.

При отсутствии микросхемы AD620 можно использовать инструментальные усилители других типов. Например, типа AMP01, AMP04 фирмы Analog Devices, INA103, INA118 фирмы Burr Brown и др.

Индикаторы "1" (DA4) и "2" (DA5) практически выполнены по одной принципиальной схеме на ИС светодиодных индикаторов уровня

типа LM3914 фирмы National Semiconductors. Принципиальные схемы индикаторов приведены на рис. 7 и рис. 8.

"Индикатор 1" играет роль индикатора уровня сигнала. Он выполнен на ИС типа LM3914 (DA4) и имеет линейную характеристику с растянутой шкалой. Десять светодиодов (HL1...HL10) расположены в одну вертикальную линию. Верхний светодиод соответствует максимальному уровню сигнала. Диапазон чувствительности индикатора определяется номиналами резисторов R1...R3 [9].

Схема (рис. 7) может использоваться в двух режимах: "точка" зажигается по одному светодиоду (переключатель SA1 – разомкнут) или "столбик" – зажигаются все светодиоды (переключатель SA1 – замкнут).

Таблица 1

Номер резистора	R_G , кОм	K_{yc}
R6	49,4	2
R7	5,489	10
R8	0,499	100

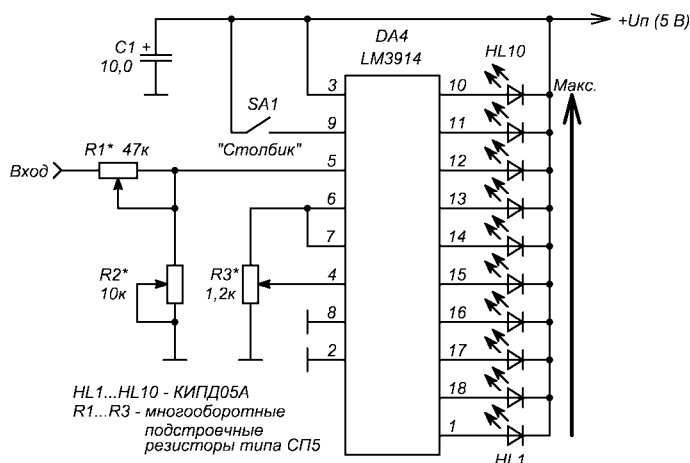


Рис. 7. Схема электрическая принципиальная "Индикатора 1"

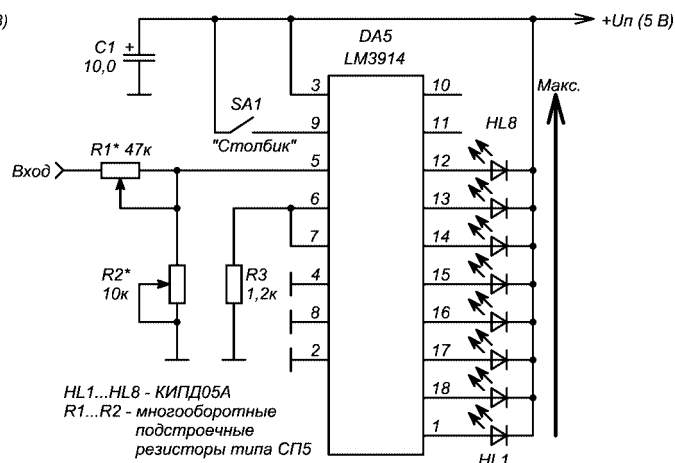


Рис. 8. Схема электрическая принципиальная "Индикатора 2"

В связи с отсутствием специального индикатора с круговой шкалой, необходимого для обозначения азимута, в макете компаса-магнитометра “Индикатор 2” **имитирует индикатор направления.**

Он выполнен на ИС типа LM3914 (DA5) и имеет линейную характеристику. Восемь светодиодов (HL1...HL8) индикатора направления расположены по условному кругу. Верхний светодиод (HL8) соответствует максимальному углу поворота. В центре круга установлен пузырьковый индикатор угла наклона. При определении направления пузырек должен находиться в центре круга.

Диапазон чувствительности индикатора определяется номиналами резисторов R1...R3. Приблизительная калибровка индикатора осуществляется с применением магнитного компаса.

Схема (рис. 8) также может использоваться в двух режимах: “точка” зажигается по одному светодиоду (переключатель SA1 – разомкнут) или “столбик” – зажигаются все светодиоды (переключатель SA1 – замкнут).

При отсутствии микросхемы LM3914, индикаторы “1” и “2” можно собрать на ИС типа K1003ПП1 или на двух 4-х канальных ОУ. Например, типа КР1401УД2А (или LM324).

Схема источника питания (рис. 9) не требует особых пояснений. Схема питается от батареи с напряжением 6...9 В. Стабилизация напряжения осуществляется микросхемой DA7 (78L05), а инвертирование полярности – микросхемой DA6 (ICM7660).

Вместо микросхемы 78L05 можно использовать КР1168ЕН5 и др., а вместо ICM7660 – ADM660 или ADM8660 (фирмы Analog Devices).

Конструкция макета электронного компаса-магнитометра специально не отработывалась. Использовались подручные и доступные автору материалы и комплектующие элементы. Проверялся только принцип работы.

Внешний вид макета компаса-магнитометра приведен на рис. 10.

Налаживание макета компаса-магнитометра, в общем виде, сводится к следующим процедурам.

1. Макет в горизонтальном положении, головной стороной строго “на север”, устанавливается на поворотный столик, изготовленный из немагнитного материала.

Желательна установка макета вдалеке от энергоемких электроприборов, постоянных магнитов и большого скопления магнитных материалов (железо, сталь, никель, и т.д.).

2. При помощи резистора R_k напряжение на катушках смещения L1 и L2 устанавливается равным 0 В (рис. 4).

3. К выходу 1 (рис. 6) подключается вольтметр.

4. При помощи резисторов R2 и R3 (рис. 6) устанавливается необходимая чувствительность сенсорной головки, которая определяется по максимальной реакции прибора на его поворот в горизонтальной плоскости. При этом напряжение на выходе микросхемы,

при максимальном уровне сигнала, не должно превышать 0,9U_п.

5. Вольтметр подключается к выходу 2 (рис. 6).

6. Макет поворачивается на 90°, головной стороной “на запад”.

7. При помощи резисторов R4 и R5 (рис. 6) устанавливается условный ноль.

8. При помощи резисторов R6...R8 (рис. 6) устанавливается оптимальный коэффициент усиления микросхемы DA2. При этом напряжение на выходе микросхемы, при максимальном уровне сигнала, не должно превышать 4,5 В.

9. При помощи резистора R_д на входе микросхемы DA3 устанавливается оптимальный коэффициент деления. При максимальном уровне сигнала напряжение на входе АЦП (DA3) не должно превышать 1 В.

10. При помощи резисторов R1...R3 (рис. 7 и рис. 8) устанавливаются оптимальные уровни срабатывания линейки светодиодов.

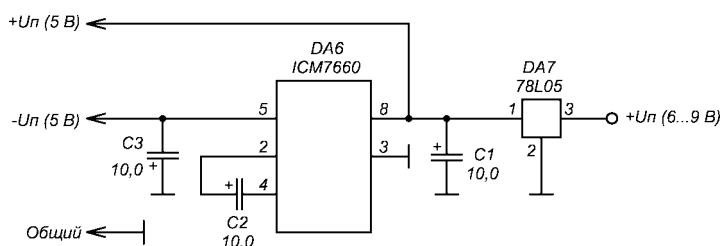


Рис. 9. Схема электрическая принципиальная источника питания



Рис. 10. Внешний вид макета электронного компаса-магнитометра

Макет компаса-магнитометра обладает достаточно высокой чувствительностью по трем координатам пространства. При повороте прибора в горизонтальной плоскости, и в пределах $\pm 90^\circ$, изменение напряжения на входе АЦП (DA3) составляет $\pm 0,5 \dots 1$ В.

При изменении местоположения прибора при помощи резистора R_k можно компенсировать воздействие внешних полей.

При соответствующей доработке и калибровке по образцовым приборам

аналогичное устройство может быть использовано в качестве магнитометра для решения определенного круга задач, например: измерения магнитной индукции и градиента магнитной индукции слабых постоянных и переменных магнитных полей (сравнимых с магнитным полем Земли), измерения магнитной индукции постоянных магнитов, использования в качестве металлоискателя или металлодетектора, поиска высоковольтных подземных кабелей, оценки электромагнитной обстановки и т.п.

При изготовлении макета компаса-магнитометра могут использоваться иные типы аналогичных электрорадиоэлементов, находящиеся в распоряжении радиолюбителя. При этом потребуются подгонка элементов, отмеченных на принципиальных электрических схемах звездочками (*).



(Окончание в №4/2006)

Михаил Бараночников
г. Москва

Окончание. Начало в №2-3/2006

Несколько слов об электронном компасе

Квазиэлектронный компас

Квазиэлектронный компас представляет собой сочетание традиционного магнитного компаса и датчика угла поворота. Такое сочетание позволяет контролировать с высокой точностью перемещение магнитной стрелки в пределах небольших углов $\pm 1...15^\circ$.

Высокая чувствительность подобного устройства объясняется тем, что индукция магнитного поля под острым концом стрелки "обычного" компаса составляет примерно 0,5 мТл, что на порядок превышает напряженность магнитного поля Земли.

Структурная схема квазиэлектронного компаса приведена на рис. 11. Ниже рассмотрим принцип работы.

Магнитное поле стрелки компаса регистрируется сенсорной головкой. Выходной сигнал с сенсорной головки усиливается инструментальным усилителем (DA3), поступает на индикатор уровня сигнала (DA4) и блок звуковой индикации.

В качестве зуммера (Зв) использовался соответствующий узел от будильника китайского производства.

При совпадении острого конца магнитной стрелки с направлением на север (N) появляется максимум сигнала, зажигается линейка зеленых светодиодов, с первого (HL1) до десятого (HL10).

Если стрелка острым концом поворачивается в обратную сторону, зажигаются два красных светодиода (HL11, HL12) и звучит сигнал зуммера.

Схематическое устройство сенсорной головки приведено на рис. 12.

В сенсорной головке (рис. 12) используются две магниточувствительные ИС (DA1 и DA2), которые расположены в одну горизонтальную

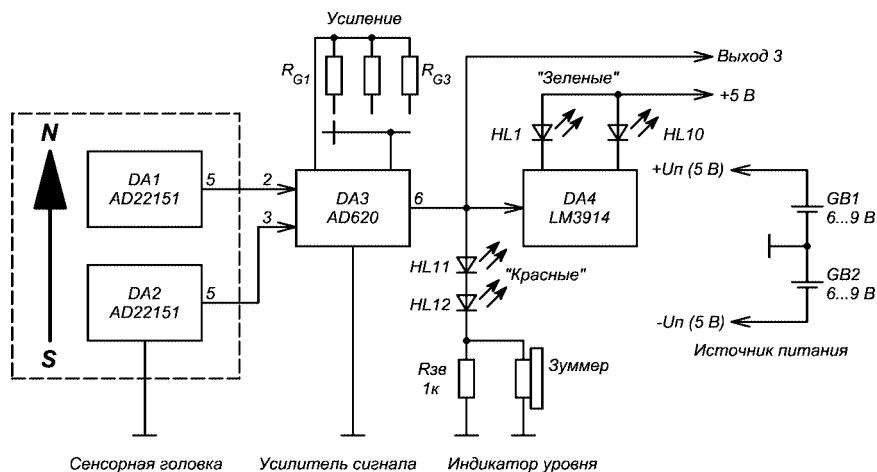


Рис. 11. Структурная схема квазиэлектронного компаса

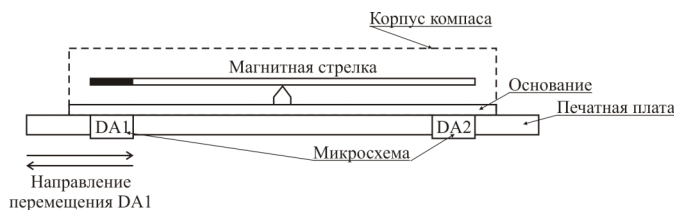


Рис. 12. Схематическое устройство сенсорной головки

линию. Микросхема DA1 расположена под острым концом магнитной стрелки, DA2 – под противоположным.

В приборе использован отечественный жидкостной спортивный компас типа II. (Цена деления круговой шкалы 5° , время успокоения магнитной стрелки не более 7 с.) Внешний вид компаса приведен на рис. 13.

Компас подвергся небольшой доработке. Сначала у компаса при помощи острого ножа демонтируется пластмассовое основание. Затем изготавливается печатная плата, в которой вырезаются два окна под установку магниточувствительных микросхем (DA1 и DA2). При этом микросхема DA1 устанавливается на латунной планке, позволяющей ее перемещение в горизонтальной плоскости.

С обратной стороны печатной платы распаиваются выводы микросхем и устанавливаются бескорпусные



Рис. 13. Внешний вид жидкостного спортивного компаса типа II

резисторы и конденсаторы. После монтажа микросхем на лицевой стороне печатной платы устанавливается корпус компаса, который закрепляется кольцом при помощи 4-х винтов M1,2.

Внешний вид сенсорной головки на основе магнитного компаса приведен на рис. 14.

Принципиальная электрическая схема сенсорной головки квази-магнитного компаса приведена на рис. 15.

В сенсорной головке (рис. 15) используются две магниточувствительные ИС типа AD22151 фирмы Analog Devices, которые расположены в одну горизонтальную линию. Микросхема DA1 расположена под острым концом магнитной стрелки, DA2 – под противоположным.

Требуемый коэффициент усиления (K_{uc}) и магнитная чувствительность (S_U) микросхем DA1, DA2 устанавливается номиналом резисторов $R2^*$, $R2.1^*$ и $R3^*$, $R3.1^*$ (рис. 15) и рассчитывается по формулам 3...6.

Индикатор уровня собран по схеме, приведенной на рис. 7.

В данном случае устройство (рис. 7) играет роль индикатора уровня. Оно выполнено на ИС типа LM3914 (DA4) и имеет линейную растянутую характеристику. Десять светодиодов (HL1...HL10) индикатора расположены в одну вертикальную линию. Диапазон чувствительности индикатора определяется номиналами резисторов $R1...R3$.

Калибровка индикатора осуществляется с применением магнитного компаса по максимальной величине сигнала при повороте прибора головной частью строго “на север”.

Конструкция макета квазиэлектронного компаса специально не отработывалась. Использовались подручные и доступные автору материалы и комплектующие элементы. Проверялся только принцип работы.

Внешний вид макета квазиэлектронного компаса приведен на рис. 16.

Налаживание макета квазиэлектронного компаса, в общем виде, сводится к следующим процедурам.

1. Макет в горизонтальном положении, головной стороной строго “на север”, устанавливается на поворотный столик, изготовленный из немагнитного материала.

Желательна установка макета вдалеке от энергоемких электроприборов, постоянных магнитов и большого скопления магнитных материалов (железо, сталь, никель, и т.д.).

2. К выходам 1 и 2 (рис. 15) подключается по вольтметру.

3. При помощи резисторов $R2^*$, $R2.1^*$ и $R3^*$, $R3.1^*$ (рис. 15) устанавливается необходимая чувствительность сенсорной

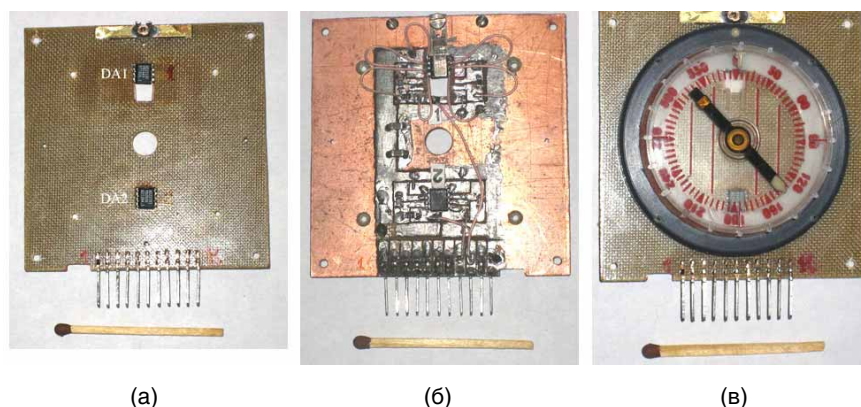


Рис. 14. Внешний вид сенсорной головки на основе магнитного компаса: а - лицевая сторона; б - обратная сторона; в - в сборе

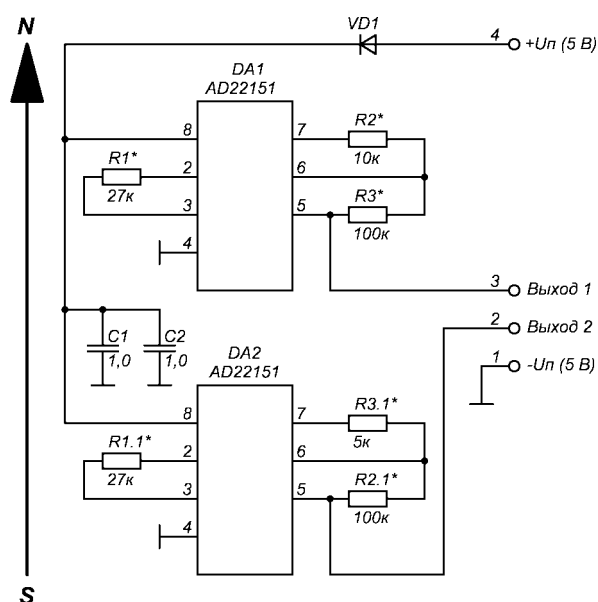


Рис. 15. Принципиальная электрическая схема сенсорной головки квазимагнитного компаса

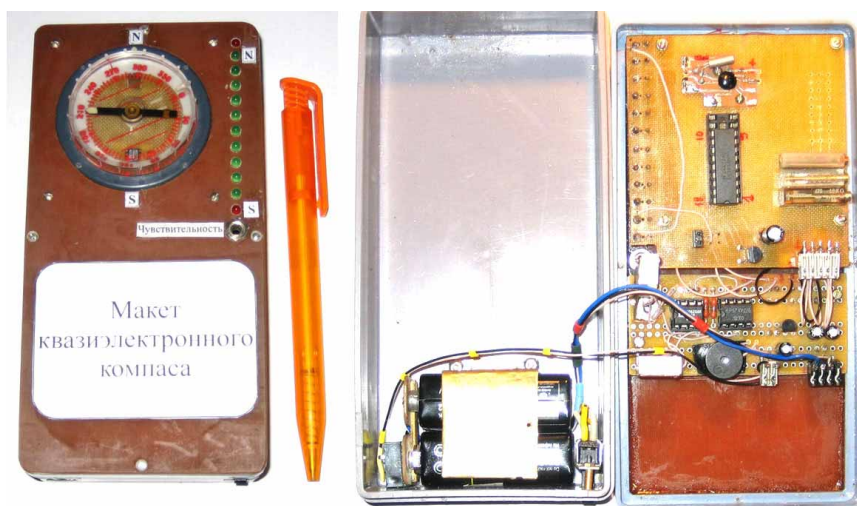


Рис. 16. Внешний вид макета квазиэлектронного компаса

головки, которая определяется по максимальному напряжению на выходах 1 и 2.

При этом напряжение на выходе микросхем DA1 и DA2, при максимальном уровне сигнала, не должно превышать $0,9U_{\text{п}}$.

4. Вольтметр подключается к выходу 3 (**рис. 11**).

5. При помощи резисторов $R_{\text{Г1}}...R_{\text{Г3}}$ (**рис. 11**) устанавливается оптимальный коэффициент усиления микросхемы DA3. При этом напряжение на выходе микросхемы, при максимальном уровне сигнала, не должно превышать 4,5 В.

6. При помощи резисторов $R1...R3$ (**рис. 7** и **рис. 11**) устанавливается

максимальный уровень срабатывания линейки зеленых светодиодов (**рис. 11**, микросхема DA4, светодиоды HL1...HL10).

7. Макет поворачивается на $\pm 5^\circ$. При этом контролируется уровень сигнала на выходе 3 (**рис. 11**).

8. При помощи резисторов $R1...R3$ (**рис. 7** и **рис. 11**) устанавливается оптимальный уровень срабатывания линейки светодиодов (**рис. 11**, микросхема DA4, светодиоды HL1...HL10).

9. Макет поворачивается на 180° (острый конец стрелки направлен строго "на юг"). При этом должны загореться красные светодиоды HL11, HL12 и сработать зуммер (Зв).

Следует отметить, что квазиэлектронный компас контролирует только положение магнитной стрелки относительно двух преобразователей магнитного поля (DA1, DA2).

Максимальная чувствительность по углу поворота магнитной стрелки составляет порядка $0,1^\circ$.

Диапазон чувствительности по углу поворота определяется, исходя из конкретной задачи, и устанавливается положением микросхемы DA1 (**рис. 12**), коэффициентами усиления микросхем DA1 и DA2, уровнем срабатывания индикатора DA4 (**рис. 7** и **рис. 11**).



Литература

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Том 1. - ДМК Пресс, г. Москва, 2001 г., 544 с.
2. Wellhausen H. Elecktronischer Kompab // Elektronik, 8/14, 4, 1987. - pp. 85 - 89.
3. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Том 1. Том 2. - Лазерный диск. ДМК Пресс, г. Москва, 2002 г.
4. Электронный компас. - "Радиолюбби", №2, 2002 г., с. 18.
5. Бузыкканов С. Применение магниторезистивных датчиков в системах навигации. - Chip news, №5, 2004 г., с. 60 - 62.
6. Новаченко И.В., Телец В.А. Микросхемы для бытовой аппаратуры. - Справочник. Радио и связь, Москва, 1991 г., с. 79 - 86.
7. Linear Output Magnetic Field Sensor AD22151. Проспект фирмы Analog Devices, Inc., 1997.
8. Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620. Проспект фирмы Analog Devices, Inc., 2004.
9. LM3914 Dot/Bar Display Driver. Проспект фирмы National Semiconductor Corporation, 2001.