

Автономный аксонометрический магнитометр

УДК: 681.5

В данной работе представлены схема, конструкция, программное обеспечение и принцип функционирования автономного магнитометра с передачей данных по радиоканалу 433 МГц. для аксонометрической визуализации магнитного поля (МП) на удаленном компьютере.

Магнитометр предназначен для изучения особенностей распространения МП, влияния магнетизма нашей планеты Земля. Аксонометрическая визуализация - удобный инструмент для определения различных неоднородностей при исследовании методом неразрушающего контроля металлических и композитных материалов, используя эффект Виллари.

Ключевые слова: 12F629, FORTH, 433МГц, эффект Виллари

1. Введение

Представленный магнитометр выполнен на основе авторского проводного магнитометра [1], в который добавлен канал радиосвязи. Это предоставляет больше удобств при измерениях, а также добавляет другие функциональные возможности:

- Точки измерения можно переносить в места не доступные для присутствия человека, например, в «загрязненной» атмосфере, в высотных сооружениях и т.п.;
- Возможно «оснастить» таким удаленным измерителем беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для магнитного сканирования поверхности Земли и промышленных объектов в строительстве;

Дополнительное преимущество конструкции состоит в том, что сохраняется возможность работы и в проводном режиме с внешним питанием. Это позволяет использовать магнитометр как регистратор или датчик работы различных вращающихся металлических предметов для систем «умный дом» и т.п.

2. Схема

Принципиальная схема автономного аксонометрического магнитометра с фотографиями основных элементов представлена на рисунке 1.

Схема выполнена по модульно-шинной структуре. Модули устанавливаются через штыревые разъемы, что позволяет их быстро проверять и менять в случае неисправности.

Элементы схемы и их назначение:

- На разъемы hmc5833L_1,2,3 подключаются модули плат гироскопов [2]. Питание от шины 3.3 Вольта. В модулях имеются сопротивления подтяжки. Используется общая шина данных SCL, которая управляется от вывода GP2 МК U1(12F629) [3].
- Индивидуальные шины данных для модулей гироскопов подключаются соответственно к выводам GP0, GP1, GP5.
- Переключатель J2 выполняет подключение источника питания от АКБ J3 (18650) или от разъема +5 Вольт блока USB-UART.
- Разъем J1 предназначен для резервирования питания от других источников при автономной работе магнитометра.

- Для формирования поступающего питающего напряжения в номинал 3.3 Вольта используется стабилизатор Q1(LP2950).

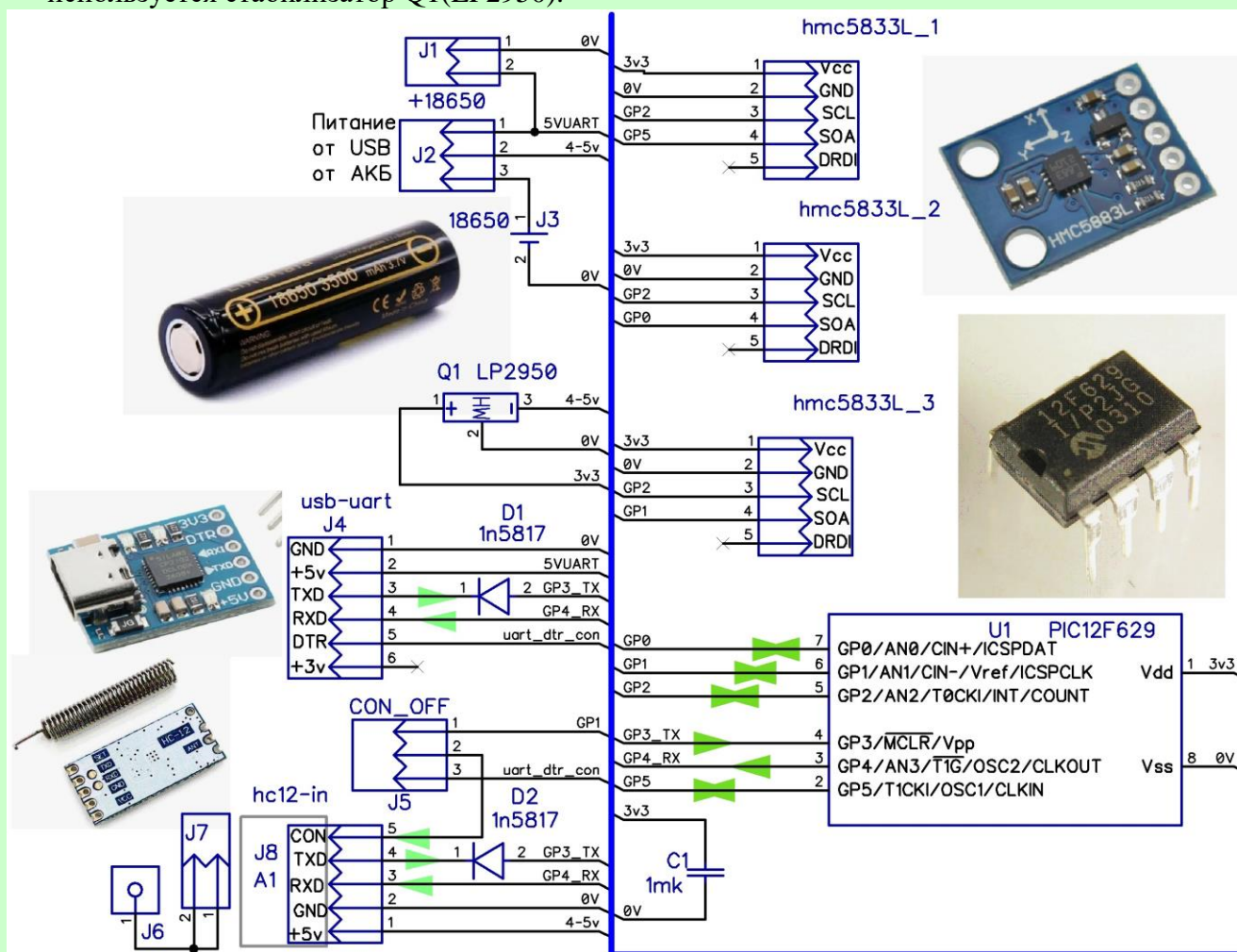


Рисунок 1. Принципиальная схема автономного магнитометра

- Для совместной работы удаленного и местного вариантов обмена данных применены разделительные диоды D1,2 (1n5817). Передача данных от разъема J4 (USB-UART) или от J8 (HC12) независима и выполняется отдельно по времени. Данные от двух источников поступают на вывод GP3 МК U1 (12F629).
- МК U1 (12F629) выполняет функции получения команд от ПК через USB-UART или от ПК через HC12, последующего чтения данных от трех гироскопов hmc5833L и передачи данных в ПК через подключенный на данный момент модуль связи.
- Выполняется питание МК от шины 3.3 Вольта, что обеспечивает согласование с гироскопами и не требует дополнительных резисторов подтяжки.
- Установлен режим работы МК от внутреннего RC-генератора с тактовой частотой 4 МГц и скоростью обмена в 1200 бит в секунду. Такой режим освобождает дополнительно два вывода МК, что позволяет включить три гироскопа.
- Переключатель J5 требуется для предварительной настройки модуля HC12 [4] на частоту канала связи, мощность и режим работы пакетной передачи FU4. Выбранный режим FU4 обеспечивает максимальную «пробиваемость» радиоканала и дальность связи.

- Для исключения влияния передатчика HC12 на данные приема МП гироскопами выполняются отдельные операции чтения данных гироскопом и передача по радиоканалу. В этом случае наведенное МП содержит информацию, а формируемое электромагнитное поле передает эту информацию.

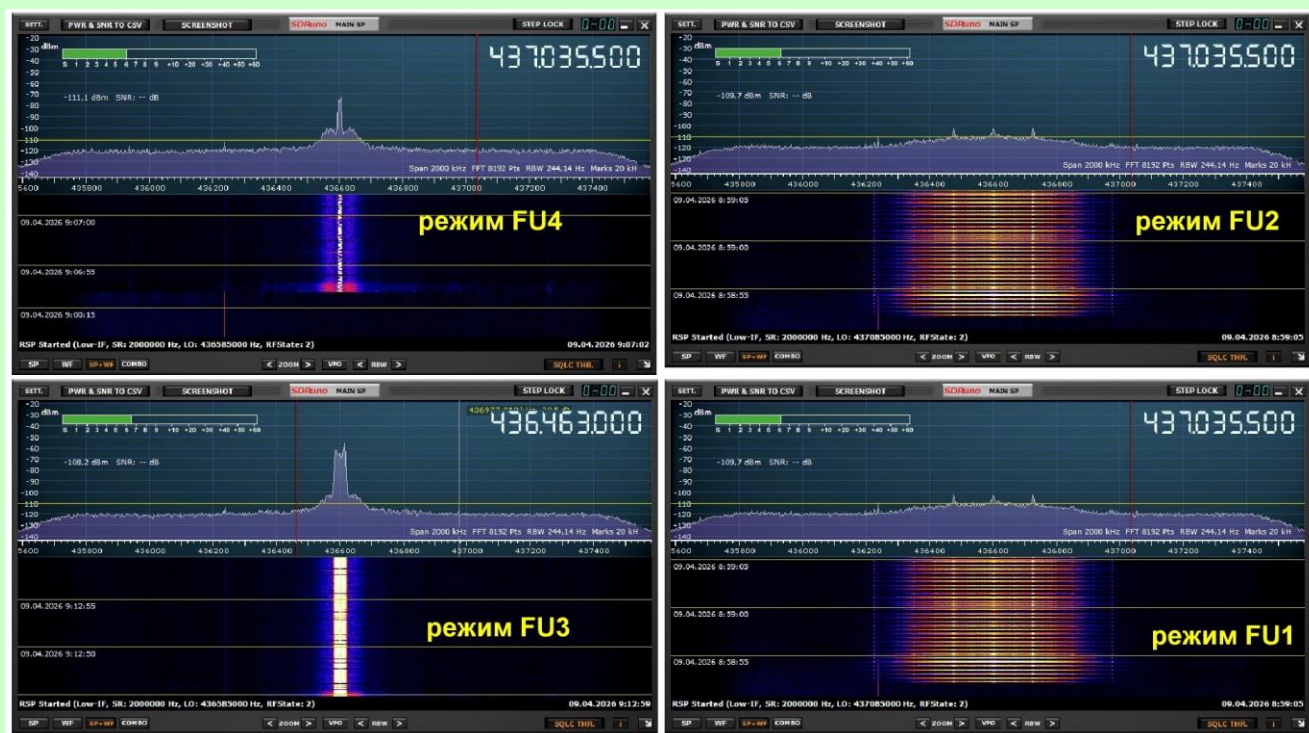


Рисунок 2. Вид спектра передаваемых сигналов для режимов FU1-4.

- Модуль передатчика HC12 подключается к внутренней антенне, расположенной на печатной плате магнитометра. Тип антенны – полосковая линия, приблизительно равная $\frac{1}{4}$ длины волны излучения. Это обеспечивает связь на расстоянии не менее 500 метров на открытом пространстве. В других условиях, например, железобетонные здания и т.п., связь может быть значительно меньше.
- Режимы модуля передатчика HC12 показаны спектром частотного диапазона на рисунке 2.
- Чем выше «пик» и меньше «ширина» сигнала, тем больше «пробиваемость» канала связи. Соответственно, выбран режим FU4. Однако, допустимы и другие режимы работы в случае близкого расположения ПК и магнитометра.
- В модуле HC12 предусмотрен разъем микро-SMA, который предназначен для дополнительной внешней антенны. Вид печатной платы HC12 с разъемом представлен на рисунке 3.
- Возле ПК также выполняется настройка модуля HC12, предназначенного для работы с магнитометром. Модуль HC12 подключается через USB-UART, как показано на рисунке 4.
- Модуль возле ПК получает питание по шине USB. Антенна может быть выполнена в любом исполнении. Оформление конструкции и крепление антенны может варьироваться в широких диапазонах.



Рисунок 3. Вид модуля передатчика HC12 с антенной.

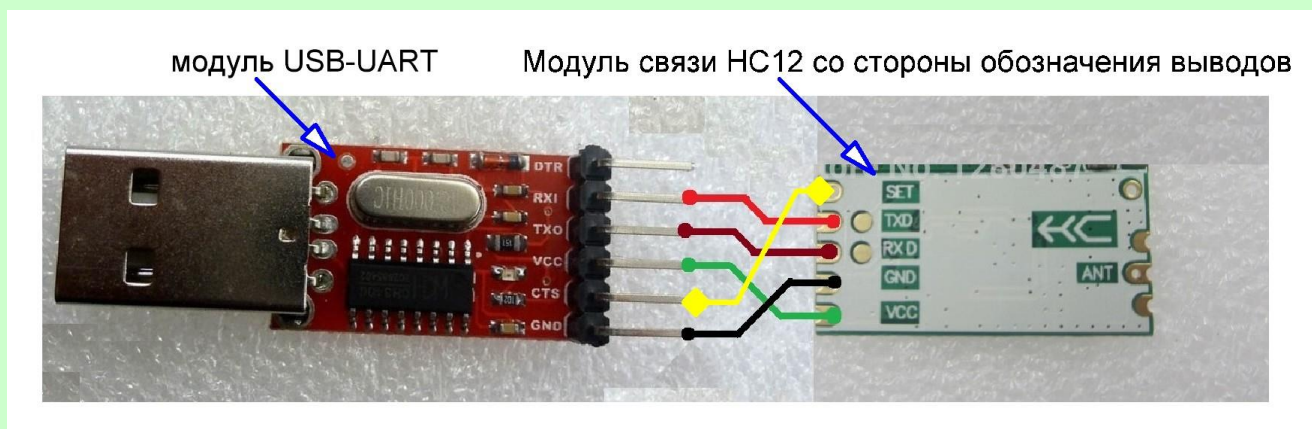


Рисунок 4. Схема соединения USB-UART и HC12.

- Также выпускаются готовые модули HC12 с подключением в USB, рисунок 5. Необходимо отметить, что готовые модули управляются режимами переключения через внешнюю кнопку, что во многих случаях затрудняет эксплуатацию и настройку [5].

Схема магнитометра в режиме измерения потребляет примерно до 10 миллиампер и в режиме передачи по радиоканалу - до 70 миллиампер. При работе от USB-UART индикация обмена обеспечивается светодиодами на данной плате. Автономная работа при использовании АКБ 18650 с ёмкостью 3000 миллиампер-час в среднем выполняется 12-15 часов.

Не предусматривается режим подзарядки от USB. Нельзя подключать +5 вольт на подзарядку АКБ 18650, например, замкнув выводы 1-2 J3. Поскольку процесс зарядки АКБ имеет нелинейный характер, в начале ток заряда большой и затем он постепенно уменьшается. При принудительном замыкании выводов 1-2 J3 постоянное напряжение будет формировать постоянный ток, что вызовет перегрев АКБ и даже возможно разрушение оболочки и возгорание.

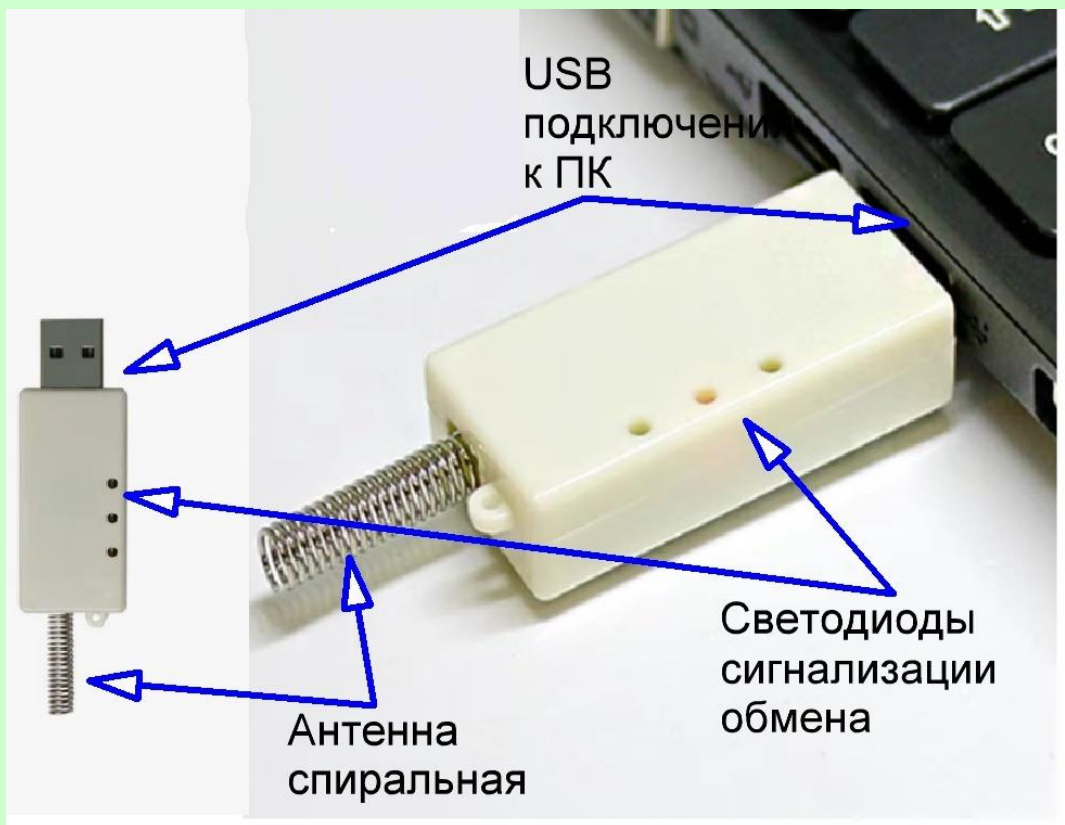


Рисунок 5. Модуль USB-HC12.

Рекомендуется заряжать АКБ через специальные зарядные устройства, которые обеспечивают последовательность зарядного тока и контроль напряжения заряда [6].

3. Конструкция магнитометра

Магнитометр выполнен на печатной плате. Модули подключаются через штыревые гнёзда. Вид 3d модели печатной платы в двух ракурсах с указанием мест установки модулей представлен на рисунке 6.

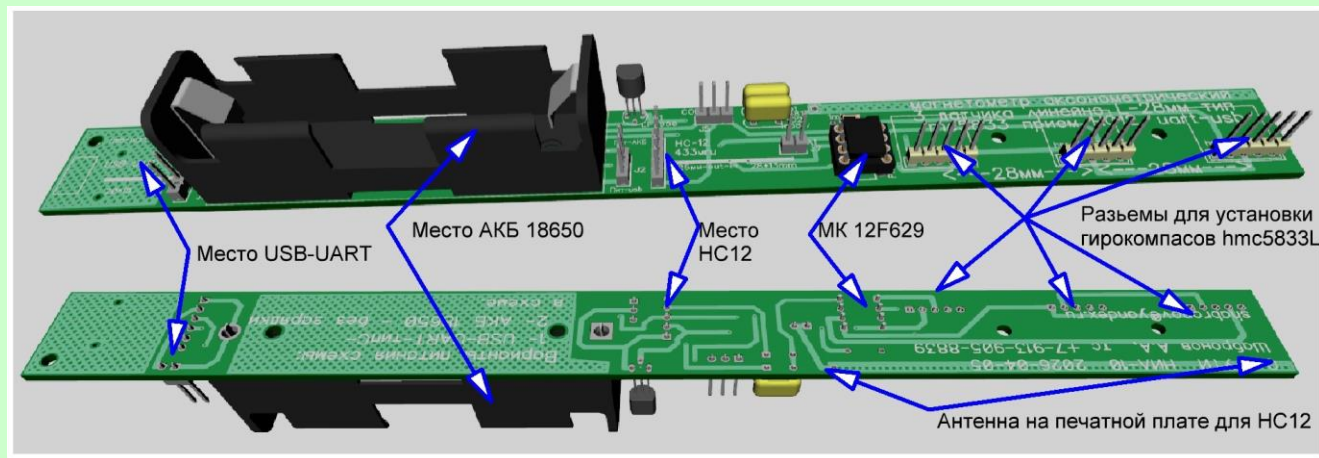


Рисунок 6. 3d модель печатной платы магнитометра.

Печатная плата помещается в корпус из кабель-канала 25*30, рисунок 7. Для сравнительной оценки масштаба показан обычный карандаш.



Рисунок 7. Магнитометр в сборе в корпусе кабель-канала.

Принципиальная схема (файл `uart_hms5883l_12f629_hc12_n3.dch`), печатная плата (файл `uart_hms5883l_12f629_hc12_n3.dip`) подготовлены в редакторе DIP-TRACE и находятся в программе каталога [7].

Конструкция предназначена для учебных целей и поэтому легко разбирается на составные элементы. Защита от влаги и других вредных воздействий в данной реализации не предусматривается.

При повторении конструкции допускается использовать любые аналогичные материалы и элементы креплений. Необходимо обратить внимание на отсутствие влияния используемых материалов на цели устройства – прием МП и передачу по радиоканалу.

Так же необходимо учитывать и слабую механическую прочность данной конструкции магнитометра. При падениях и ударах составные модули схемы могут выйти из гнезд креплений, т.к. нет никаких крепежных элементов модулей.

4. Программное обеспечение


Программное обеспечение подготовлено на языке Forht [8,9], находится в одном файле **uart_mpole_hc12v1** и содержит все составляющие для ее развития или текущей работы. Первоначальный запуск программы вызовет стартовое меню, на котором необходимо выбрать требуемый режим работы и для этого нажать цифровые клавиши на выбор из четырех: 1- восстановить ини-файл **uart_mpole_hc12v1.ini**, 2- открыть файл помощи, 3- восстановить всю информацию для дальнейшей модернизации, 4- восстановить и скомпилировать новую программу, 5- восстановить драйвера используемых USB-UART модулей. Цифра 6 – запуск демонстрационного режима для проверки графических возможностей терминала.

Запуск программы в каталоге с наличием файла инициализации выполняется по опциям данного файла. Это текстовый файл, который доступен для редактирования. Программа подготовлена для автономного и проводного магнитометра на основании выше приведенной схемы. Первично начинает работать окно консоли и далее выбираются режимы работы.

Все окна программы и консоль имеют возможность установок цвета фона и знаков. В «старых» компьютерах графический знакогенератор может быть установлен пользователем в панели управления через настройку системы. Обычно используется набор кодов ASCII для русскоязычной реализации WINDOWS и кодовые страницы 1251 или 866. Если отображаются «кракозябры», то необходимо в настройках языка системы поменять кодовую страницу при запуске данной программы. В «новых» компьютерах при использовании системой двухбайтной кодировки UTF-8 с кодовой страницей 65001 отображение устанавливается автоматически.

Программа работает только через DLL API библиотеки WINDOWS KERNEL32.DLL и поэтому совместима со всеми 32-х и 64-х разрядными версиями этой операционной системы.

Перечислим последовательность включения режимов:



```
Программа uart_mpole_hc12v1.exe на языке FORTH, автор Шабронов А.А. тс+7-913-905-8839 shabronov@ngs.ru г.Новосибирск ...
UART-USB, 12F629, HC12 для магнитометра.                2026- 4-10
Установлен порт=5 ок!                                   11: 0:38
Клавиши управления:      Esc - стоп программа;         NyNx/YiXi=20 106 0 1C
Пробел - обновить экран, Ctrl+F1.9 - доп.режимы;        Размер файла=6 563 840 байт.
а-диспетчер устройств;  s-информация по системе;        Дата версии:2026-04-10 11:00
z-помощь по программе;  c-музыкальная пауза;           KСехе= 2 763 701 135  ok.
d-сайт по программе;    g-восстановить все;             Ц.знк= 0
v-цветовая гамма окна ; b-открыть =облако=;            Ц.фон=15
-?!- выключение ПК; h-часы; t-тетрис;                  Stk= 1 ,here=12141522
                                                         NameПК : RYZEN-SHABR
                                                         NameUsr: ШАБРОНОВ
                                                         Права администратора
                                                         processor_INTEL_PENTIUM n=16
                                                         Питание от сети
                                                         Пу.п_cmd/мс/=141/143

Перейти на устройства:
1- управление настройкой UART-HC12
2_ гироскоп HMC5883L три платы;
```

Рисунок 8. Окно консоли для выбора варианта отображения.

При нажатии в консоли цифровой клавиши «1» откроется окно настройки USB-UART-HC12 для работы с магнитометром, как показано на рисунке 9. Требуется нажать клавишу «е» для записи режима HC12. Для проверки установленного режима нажать клавишу «г». Другие режимы этого окна выполняют различные тестовые и контрольные проверки других разработок автора с использованием модуля HC12.

При нажатии в консоли цифровой клавиши «2» открывается окно настроек и цифрового отображения трех гироскопов, как показано на рисунке 10.

Это окно предназначено для проверки состояние МК, датчиков (гирокомпасов) МП и выполнения возможных настроек, например, изменить чувствительность или полярность. При нажатии клавиши «f» включается измерение, которое отображается в цифровом виде. Отображаемые данные подтверждают исправность магнитометра.

При нажатии в окне настроек цифровой клавиши «j» открывается окно визуализации в аксонометрической проекции, как показано на рисунке 11. В этом окне далее надо выбрать режимы работы, нажимая клавиши управления. На рисунке показан вариант аксонометрического отображения при нажатии клавиши «f», т.е. три треугольника данных.

Во всех окнах предусмотрено «перетаскивание» областей отображения за «левый верхний угол» по общему окну. Если подвести указатель «мышки», появится мигающий маркер «белый квадрат». Далее нажать левую клавишу «мышки», «захватить» область отображения и «перетащить» в требуемое место. При «захвате» выдается звуковой сигнал. В требуемом месте нажать правую клавишу «мышки», захват снимется и также прекратится звуковой сигнал. По адресу [7] расположен видеофайл помощи по настройке расстановки окон визуализации.

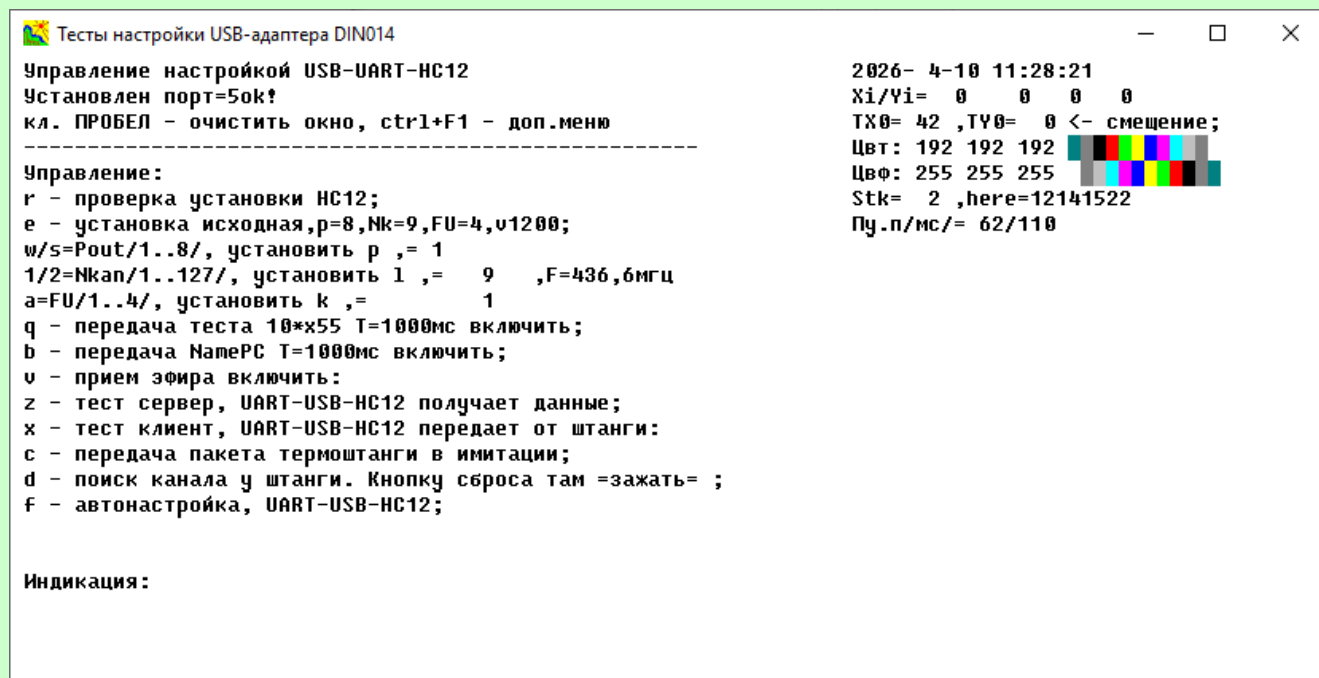


Рисунок 9. Окно управления настройками USB-UART-НС12.

При нажатии клавиши «a» в окне отображения аксонометрической визуализации выполняется выравнивание трех зон отображения по геометрическому центру их осей. Формируется размещение в одну линию изображение треугольников трех датчиков. Это требуется при «перетаскивании» по окну отображаемой информации в горизонтальном или вертикальном расположении. Всегда есть погрешность перетаскивания, которое при нажатии клавиши устраняется.

Нажатием клавиши «g» меняется чувствительность гироскопов, что может потребоваться при визуализации с большим градиентом уровней МП.

В программе предусмотрен режим имитации. Он может потребоваться для первоначальной подготовки и оценки возможностей поля отображения используемого компьютера.

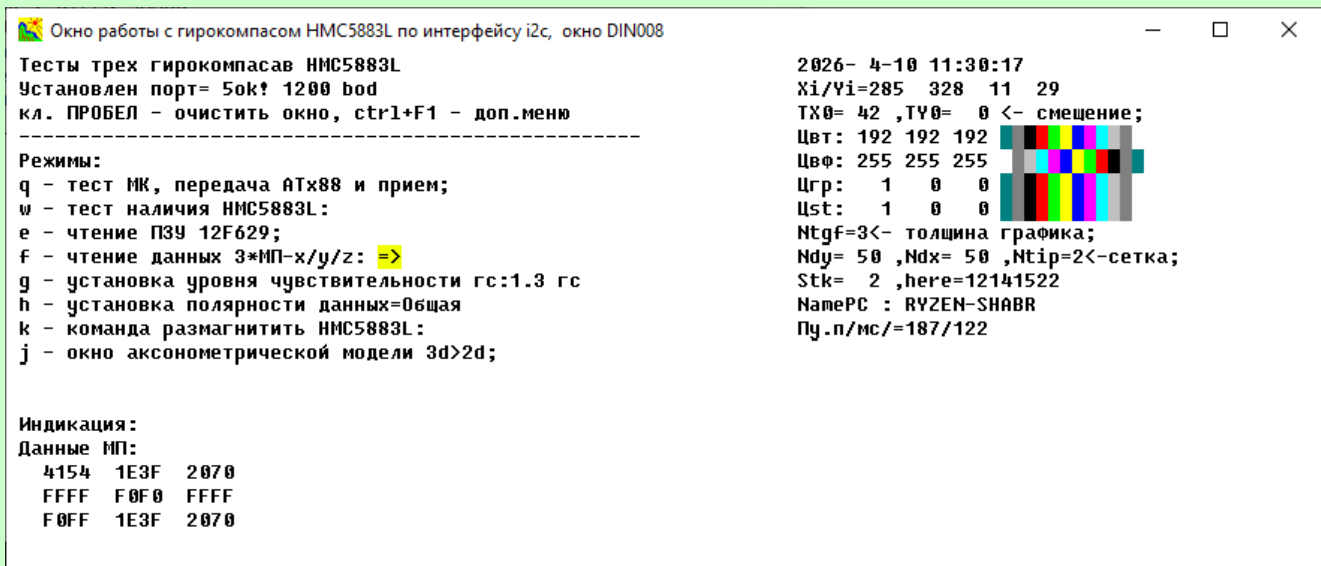


Рисунок 10. Окно выбора режимов и настроек гирокомпасов.

Для наглядности и понимания размерности экрана автором установлены в файле инициализации для операнда **UST_UPR_CMD=** опции **2 2j ji c z**. Это означает, что после старта программа выбирает 2-ое окно (2), затем окно для аксонометрического отображения (2j), затем режим имитации (ji), открывает диспетчер устройств (z) и включает музыкальный фрагмент (c).

Такая комбинация стартового режима сразу покажет возможности отображения ПК и проверит наличие подключенного магнитометра.

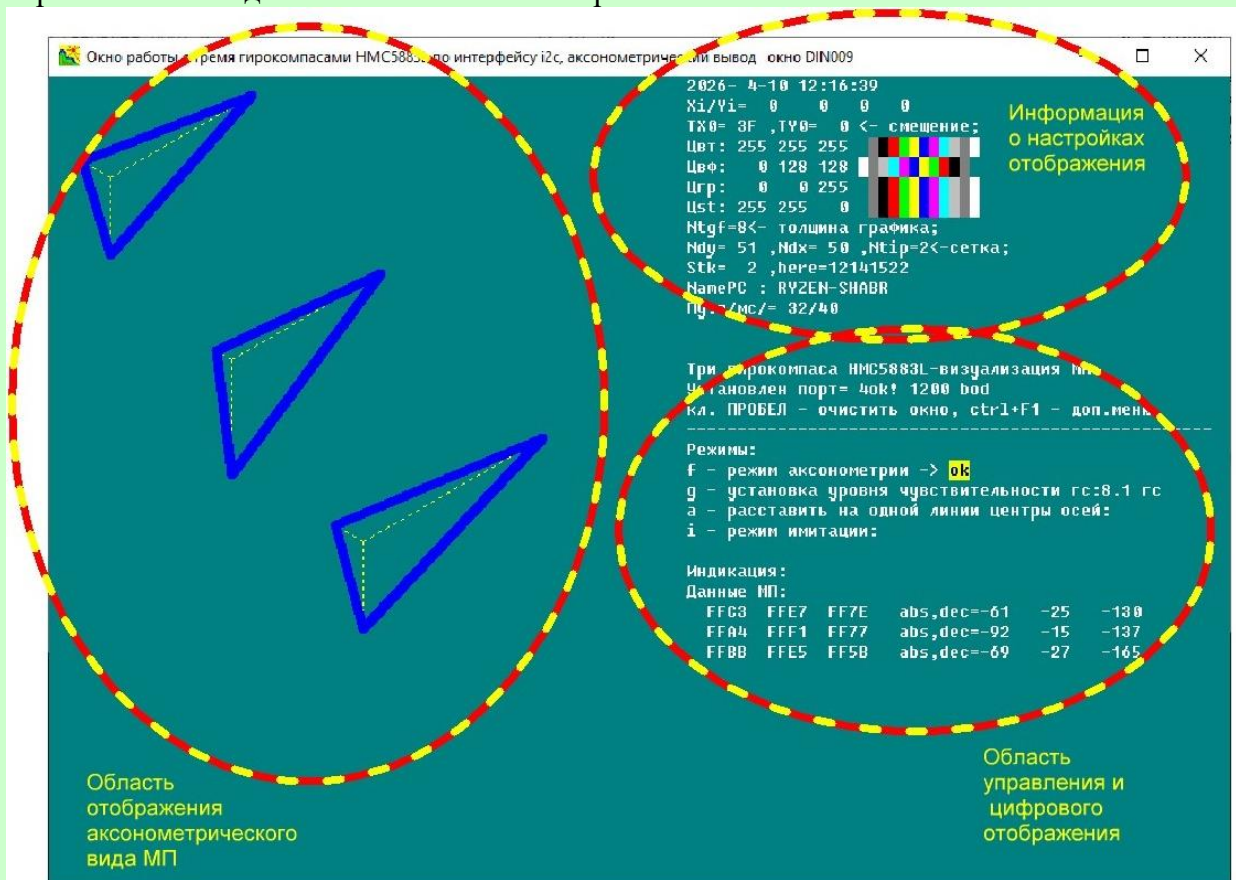


Рисунок 11. Окно отображения аксонометрического вида МП магнитометром.

Опции инициализации также можно задать и в командной строке, что позволяет создавать ярлыки Windows для различных режимов работы программы магнитометра.

При реальной работе необходимо самостоятельно установить собственные предпочтения в операнде или удалить через «ремаркирование» наклонной линией.

В каталоге **forth_assmb_pik12** находятся файлы на языке forth-ассемблер программы работы МК. При компиляции общей программы они также компилируются и формируют в каталоге **uart_mhc55381_upr_mp_v1** файлы HEX-кодов для записи в МК. Файлы для МК имеют расширение hex и записываются в МК любым доступным программатором.

Работа с МК построена на структуре AT-команд. Например, для получения 18 байт данных от трех магнитометров передаём код из 6 байт: «AT» (2 байта), x1E, x3F (режим на три датчика), x20 (чувствительность), x71 (вариант формата данных). В ответ получаем $6 \cdot 3 = 18$ байт, содержащих уровни Nx, Ny, Nz соответствующего магнитометра.

Другие команды AT подробно приведены в файле **uart_mhc55381_upr_mp_v1.f** так, что доступно программировать и на других языках при обращении к МК. Скорость обращения к МК выбрана в 1200 кбод в стандарте 8N1.

Подробности изучения магнетизма выходят за рамки данного изложения, но доступны для самостоятельного исследования.

5. Заключение

Схема и конструкция магнитометра предназначена для изучения способов и методов «неразрушающего» контроля с использованием МП [10].

Возможности удаленного контроля МП по радиоканалу позволяют улучшить параметры систем управления «умный дом» и других аналогичных систем автоматики с наличием МП.

Конструкция и метод визуализации предлагается использовать для обучения и изучения свойств МП при освоении физических дисциплин в учебных заведениях.

Литература

1. Журнал «Современная электроника» 2025г №8 с28-30 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cta.ru/articles/soel/2025/se-2025-8/182430/> (дата обращения: 24.04.2026).
2. Описание hmc5883L [Электронный ресурс]. URL: https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf?ysclid=mnq9tr1z19226652264 (дата обращения: 24.04.2026).
3. Описание МК 12F629 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chipdip.ru/product/pic12f675-i-sn> (дата обращения: 24.04.2026).
4. Описание HC12 [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki.iarduino.ru/page/trema-module-hc-12?ysclid=m986280iiw205496281> (дата обращения: 24.04.2026).
5. Модуль HC12-USB [Электронный ресурс]. URL: https://aliexpress.ru/item/1005009348595153.html?ysclid=mnqc7kd9co572950448&sku_id=12000048829561397 (дата обращения: 24.04.2026).
6. Зарядка АКБ 18650 [Электронный ресурс]. URL: <https://virtustec.ru/news/li-ion/kakim-tokom-zaryazhat-li-ion-akkumulyator-18650/> (дата обращения: 24.04.2026).
7. Каталог документов и схем [Электронный ресурс]. URL: http://90.189.213.191:4422/temp/konfer_2026_v1/test/ (дата обращения: 24.04.2026).

8. Язык программирования Forth [Электронный ресурс]. URL:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/SP-Forth> (дата обращения: 24.04.2026).
9. Язык программирования без синтаксиса [Электронный ресурс]. URL:
https://www.chernyshov.com/ZP/ZP_forth.pdf (дата обращения: 24.04.2026).
10. Эффект Виллари: [Электронный ресурс]. URL:
<https://electricalschool.info/electrojavlenija/2166-effekt-villari.html>
(дата обращения: 24.04.2026).

Шабронов Андрей Анатольевич

Старший преподаватель кафедры ТЭ СибГУТИ, тел. +7-913-905-8839,

e-mail: shabronov@yandex.ru

Autonomous axonometric magnetometer

Shabronov A. A.

This paper presents the scheme, design, software and operating principle of an autonomous magnetometer with data transmission over the 433MHz radio channel for axonometric visualization of the magnetic field (MP) on a remote computer. The magnetometer is designed to study the features of the propagation of magnetic fields, the influence of the Earth's magnetism (our planet). Axonometric visualization is a convenient tool for determining various inhomogeneities in the study of non-destructive testing of metal and composite materials using the Villari effect.

Keywords: 12F629, FORTH, 433MHz, Villari effect