

# Ръководство за експлоатация

# MG-01

AMR 3D геофизичен векторен магнитометър

Rev. 1.2 – 28 Apr 2024



**BENEV**<sup>®</sup>

Продуктовите спецификации описани в настоящия документ са обект на промяна без предварително известяване. Софтуерът и документацията са с пълни авторски права притежание на *Бенев наука и технология ЕООД*. Никаква част от информацията съдържаща се в този документ или от продуктите описани в него не може да бъде модифицирана или възпроизвеждана, под каквато и да е материална или електронна форма, без изричното писмено съгласие от притежателя на авторските права.

**Copyright © 2024 Бенев наука и технология ЕООД. Всички права запазени.**

*BENEV®* и *StudioMG™* са търговски марки или регистрирани търговски марки от *Бенев наука и технология ЕООД*. Всички други марки или продуктови наименования, споменати в този документ, са търговски марки или регистрирани търговски марки от съответните им притежатели.





Бенев наука и технология ЕООД

Тел: +359 89 923 0345


Уебсайт: [www.benev.biz](http://www.benev.biz)


бул. „Цар Симеон Велики“ 141  
Стара Загора 6000,  
България


## Използвани означения

| Символ  | Значение                                    |
|---|---|
|              | Действие свързано с работата на софтуера    |
|  БЕЛЕЖКА:    | Допълнителна информация                     |
|  ВНИМАНИЕ:  | Информация с висока степен на важност       |
|  ВНИМАНИЕ: | Информация с изключителна степен на важност |

## Безопасност

 **БЕЛЕЖКА:** Преди да използвате MG-01 се запознайте с настоящото ръководство за експлоатация.

 **ВНИМАНИЕ:** Това устройство трябва да бъде инсталирано на места, далеч от градската инфраструктура. Вземете всички необходими предпазни мерки, за да поставите захранващите кабели и линиите за данни по такъв начин, че те да бъдат защитени от гръмотевични удари по време на буря! Директният удар на гръмотевица върху инструмента или неговите кабели ще го унищожи и може да доведе до сериозни повреди в прилежащото електронно оборудване!

 **ВНИМАНИЕ:** Не излагайте магнитометъра на въздействия извън границите на максимално допустимите, описани в документацията! Използвайте уреда само по предназначение и съблюдавайте стриктно указанията за употреба!

## Гаранция

*Бенев наука и технология ЕООД* гарантира, че този продукт ще работи без дефекти по отношение както на материалите и компонентите използвани при производството му, така и по отношение на цялостната му изработка, за срок от 2 (две) години от датата на закупуването му. Ако този продукт покаже дефект по време на гаранционния си период, *Бенев наука и технология ЕООД* поема отговорността за поправката или цялостната замяна на продукта.

Задължение на клиента е да ни уведоми при възникване на дефект в рамките на гаранционния период, както и грижата по опаковането и поемането на транспортните разходи до нашия офис. *Бенев наука и технология ЕООД* поема транспортните разходи по доставянето на ремонтирания или заменен продукт обратно до клиента.

Гаранцията не покрива дефекти и повреди в следствие от неправилни употреба и съхранение на продукта. *Бенев наука и технология ЕООД* няма задължение по изпълнение на гаранцията в следните случаи:

– Този продукт е бил разглобяван, модифициран или поправян от лица, които не са били изрично упълномощени от *Бенев наука и технология ЕООД* за това, както и в случай на увреждане или подмяна на гаранционните стикери.

– Този продукт е бил подлаган на въздействия извън границите на допустимост посочени в документацията му или е бил употребяван в съчетание с неизправни или с неотговарящи на необходимите норми за качество и безопасност продукти.

– Възникване на форсмажорни обстоятелства – пожар, земетресение, наводнение и др.

# Съдържание

|   |     |
|---|-----|
| <b>Използвани означения</b>                                     | iii |
| <b>Безопасност</b>  | iv  |
| <b>Гаранция</b>   | v   |
| <b>Списък на фигурите</b>                                       | vii |
| <b>Списък на таблиците</b>                                      | vii |
| <b>1. Начало</b>  | 1   |
| 1.1 Основни особености  | 1   |
| 1.2 Приложения  | 1   |
| <b>2. MG-01</b>   | 2   |
| 2.1 Съставни части на устройството                              | 2   |
| 2.2 Анизотропна магниторезистивност                             | 4   |
| 2.3 Технически спецификации                                     | 5   |
| 2.4 Избор на място за инсталиране                               | 7   |
| <b>3. StudioMG</b>  | 8   |
| 3.1 Системни изисквания   | 8   |
| 3.2 Инсталиране на програмата                                   | 8   |
| 3.3 Главен екран  | 9   |
| 3.4 Използване на StudioMG за комуникация с MG-01               | 9   |
| 3.5 Задаване на калибровъчни коефициенти                        | 11  |
| 3.6 Задаване на коефициенти за автоматичен температурен контрол | 13  |
| 3.7 Многоезичност   | 14  |
| <b>Приложение А: StudioMG файлов формат за запис на данните</b> | 15  |
| <b>Приложение В: Кабелни връзки</b>                             | 16  |
| <b>Приложение С: Позиция и ориентация на сензорите</b>          | 17  |
| <b>Приложение D: Монтажни чертежи</b>                           | 18  |
| <b>Азбучен указател</b>   | 19  |

## Списък на фигурите

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>2.1</b> | MG-01 сензорна глава                                | 2  |
| <b>2.2</b> | MG-01 интерфейсен модул                             | 3  |
| <b>2.3</b> | Магниторезистивен ефект                             | 4  |
| <b>2.4</b> | Изходна трансферна функция на Уитстоновия мост      | 4  |
| <b>3.1</b> | StudioMG главен екран                               | 9  |
| <b>3.2</b> | Калибровъчни коефициенти – диалогов прозорец        | 12 |
| <b>3.3</b> | PID коефициенти – диалогов прозорец                 | 13 |
| <b>B.1</b> | Кабелни конектори                                   | 16 |
| <b>C.1</b> | Позиция и ориентация на сензорите (изглед отгоре)   | 17 |
| <b>C.2</b> | Позиция и ориентация на сензорите (изглед отстрани) | 17 |
| <b>D.1</b> | Монтажни чертежи – интерфейсен модул                | 18 |
| <b>D.2</b> | Монтажни чертежи – сензорна глава                   | 18 |

## Списък на таблиците

|            |  |    |
|------------|--|----|
| <b>1.1</b> | Основни особености                             | 1  |
| <b>2.1</b> | Технически спецификации – работни спецификации | 5  |
| <b>2.2</b> | Технически спецификации – електрични           | 5  |
| <b>2.3</b> | Технически спецификации – механични            | 6  |
| <b>2.4</b> | Технически спецификации – работна среда        | 6  |
| <b>3.1</b> | Системни изисквания                            | 8  |
| <b>A.1</b> | Файлов формат на данните                       | 15 |

# 1. Начало

MG-01 е нов 3D цифров векторен магнитометър, базиран на анизотропната магниторезистивна (AMR) сензорна технология. Със своя модерен и компактен дизайн, надеждност и ниска цена, той е първият в света представител на ново поколение научни инструменти. Магнитометърът е предназначен да се използва в областта на геофизичните изследвания за наблюдение и запис на магнитното поле на Земята. Технологията AMR позволява ниска консумация на енергия, ниски шумове при измерванията, висока стабилност на работа и миниатюрни размери. Тези характеристики правят MG-01 изключително подходящ избор за геомагнитните обсерватории и бордови сателитни мисии, като достоен конкурент на класическите флуксгейт (fluxgate) магнитометри.

## 1.1 Основни особености

| Особености  |
|---|
| Анизотропни магниторезистивни (AMR) сензори                                     |
| Изцяло цифров дизайн, осигуряващ висока точност и ниски шумове при измерванията |
| Прецизна вътрешна автоматична температурна стабилизация                         |
| Галванично изолиран цифров интерфейс  |
| USB HID архитектура (не са необходими допълнителни драйвери)                    |
| Графичен софтуер за контрол на работата и запис на данните от измерванията      |
| Ниска консумация на енергия   |
| Компактна и здрава, екранирана алуминиева кутия                                 |

## 1.2 Приложения

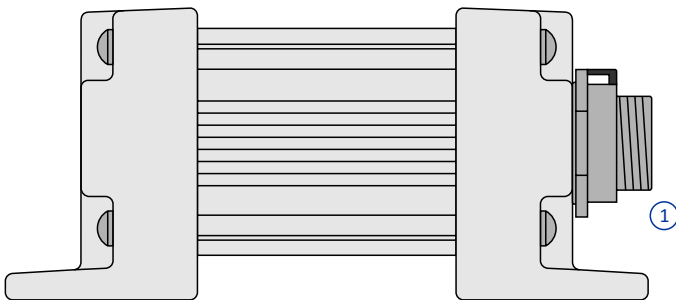
- Наблюдение и запис на геомагнитното поле
- Космически изследвания



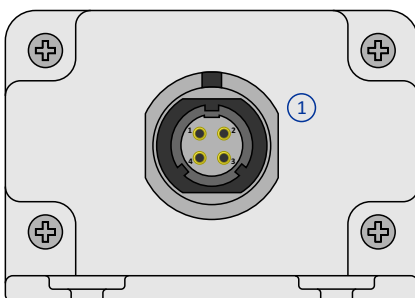
## 2. MG-01

### 2.1 Съставни части на устройството

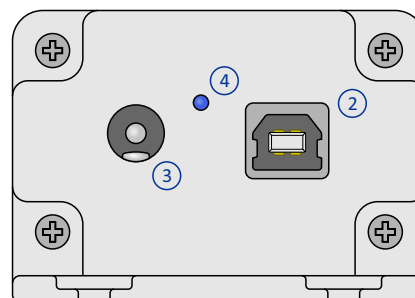
MG-01 интерфейсен модул (изглед от страни)



MG-01 интерфейсен модул  
(преден панел)

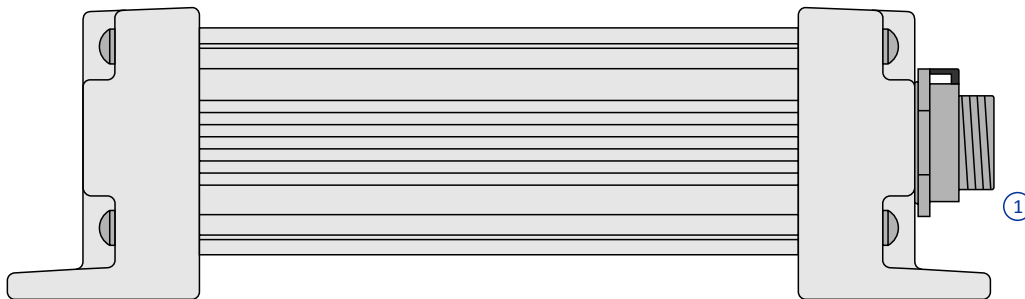
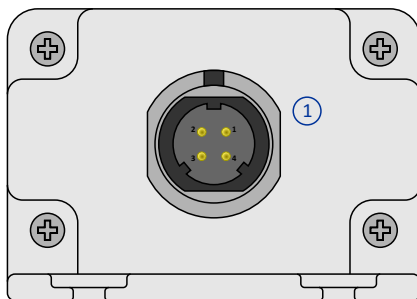


MG-01 интерфейсен модул  
(заден панел)



1. Кабелен конектор
2. USB конектор
3. Захранване
4. Статусна LED индикация

MG-01 сензорна глава (изглед от страни)

MG-01 сензорна глава  
(преден панел)

1. Кабелен конектор

MG-01 се състои от два основни модула: немагнитна сензорна глава (SH) и интерфейсен модул (IM), свързани с 4-жилен екраниран кабел (две линии за данни, една захранваща линия DC +12 ÷ 24 V и една GND линия). Двата края на екранировката на кабела са свързани към заземяването на печатната платка съответно на SH и IM (вижте Приложение А). Всички магнитни измервания се извършват от SH и числените резултати се изпращат до IM през кабела, като цифрови пакети. След всяка заявка за измерване, IM получава байтове данни, изпратени от SH и ги препраща обратно към компютъра през USB интерфейса. IM е свързан към компютъра като USB HID устройство. Следователно, не е необходимо да се инсталира специален драйвер. Към IM е свързано DC захранването.

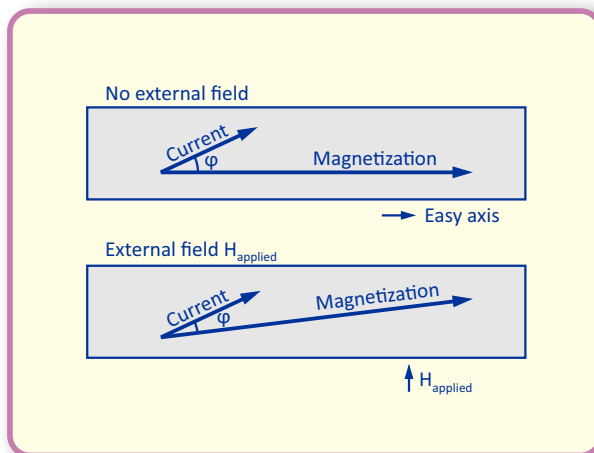
**!** БЕЛЕЖКА: Комуникацията на MG-01 и компютъра се извършва чрез програмата StudioMG (вижте част 3 от това ръководство).

**!** БЕЛЕЖКА: SH има вътрешна автоматична температурна стабилизация на трите магнитни сензора. Работата и се контролира чрез StudioMG (вижте част 3.6).

**!** БЕЛЕЖКА: SH, заедно с кабелите и захранването от една страна и USB връзката към компютъра, от друга, са напълно галванично изолирани.

## 2.2 Анизотропна магниторезистивност

Магнитосъпротивлението е зависимостта на електрическото съпротивление в някои материали от приложеното магнитно поле. Анизотропия, от друга страна, имаме, когато дадено свойство се проявява различно в различните направления. Следователно, анизотропното магнитосъпротивление (AMR) е свойство, демонстрирано от някои феромагнитни материали, състоящо се в зависимостта на електрическото им съпротивление от ъгъла между посоката на електрическия ток и вектора на намагнитване.

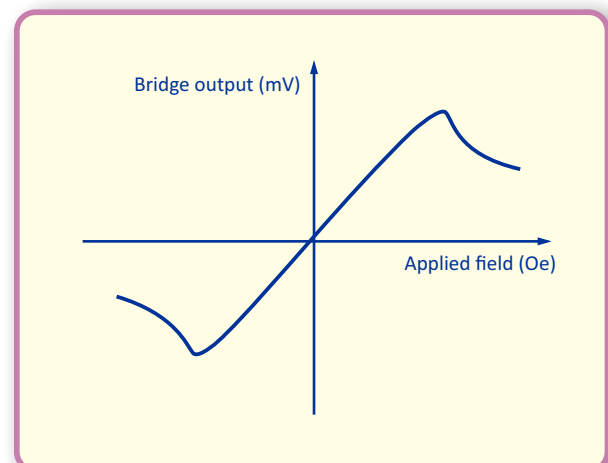


Магниторезистивен ефект.

Когато се приложи външно магнитно поле, перпендикулярно на тази ос, то кара вектора на намагнитване на материала да се завърти и по този начин се променя ъгъла  $\phi$ . Това пък води до промяна на съпротивлението на елемента.

Обикновено, четири такива елемента се комбинират, за да образуват резисторен мост на Уитстон (*Wheatstone bridge*) с типично съпротивление от около 1 kOhm. Тази конфигурация подобрява линейността на изходната трансферна функция, а също така компенсира и някои от температурните зависимости.

Типичният AMR сензорен елемент се състои от тънък слой от пермалой (*Permalloy, NiFe*), нанесен върху силициева подложка. По време на процеса на производство, този слой се отлага в силно магнитно поле. Това поле задава предпочитаната ориентация или т. нар. „лесна“ ос (*easy axis*) на вектора на намагнитване на материала, която е насочена успоредно по дължината на съпротивителния елемент. С помощта на т. нар. „Barber pole“ конфигурация, токът се насочва под ъгъл  $\phi = 45^\circ$  спрямо „лесната“ ос, а изходната трансферна функция на елемента се линеаризира.



Изходна трансферна функция на Уитстоновия мост.

## 2.3 Технически спецификации

| Работни спецификации  |  |
|---|--|
| AMR сензори   | Honeywell HMC1001, HMC1002                                 |
| Ортогонални оси   | x, y, z  |
| Диапазон на измерване (по всяка ос)                                     | $\pm 75000$ nT   |
| Честотна лента (-3 dB)  | DC ÷ 20 Hz   |
| Чувствителност @ 1 S/s  | 0.015 nT/ADU   |
| Ниво на шума (RMS) @ 1 Hz   | 0.05 nT/VHz  |
| Отношение сигнал/шум @ 1 S/s  | 124 dB   |
| АЦП ефективно разрешение @ 1 S/s  | 20.5 bit   |
| Абсолютна точност <sup>(1)</sup>  | ~ 1nT  |
| Макс. честота на семплиране   | 10 S/s   |
| Времеви обхвати   | 0.1 s, 0.2 s, 0.5 s, 1 s, 2 s, 5 s, 10 s, 20 s, 30 s, 60 s |
| Точност на вътрешната температурна стабилизация @ 1 S/s (RMS)           | 0.003 °C   |
| Време за усядане на вътрешната температурна стабилизация <sup>(2)</sup> | 10 ÷ 15 min  |
| Температурен коефициент   | 0.35 nT/°C   |

<sup>(1)</sup> Зависи от процедурата за калибриране.

<sup>(2)</sup> Зависи от разликата между стойността зададена при вътрешната температурна стабилизация и околната температура.


| Електрични спецификации                      |              |
|--|--------------|
| Захранващо напрежение                        | DC 12 ÷ 24 V |
| Напрежение на цифровите линии                | 0 V / 3.3 V  |
| Макс. консумация на ток                      | 260 mA       |
| Номинална консумация на ток <sup>(1)</sup>   | 90 ÷ 120 mA  |
| Номинална консумирана мощност <sup>(1)</sup> | ~1 W         |
| Макс. дължина на кабела                      | 100 m        |

<sup>(1)</sup> Зависи от разликата между стойността зададена при вътрешната температурна стабилизация и околната температура.

| Механични спецификации                 |   |
|--|---|
| Кутия (сензорна глава)                 | Алуминий, IP67, електрически екранирана |
| Кутия (интерфейсен модул)              | Алуминий, електрически екранирана       |
| Конектор (сензорна глава)              | WEiPU, SP1312/P4N                       |
| Конектор (интерфейсен модул)           | WEiPU, SP1312/S4N                       |
| Кабелни конектори                      | WEiPU, SP1310/P4IN, SP1310/S4IN         |
| DC захранващ конектор                  | φ 5.5 / 2.1 mm                          |
| Размери (сензорна глава)               | 136 x 55 x 40 mm                        |
| Размери (интерфейсен модул)            | 85 x 55 x 40 mm                         |
| Тегло (сензорна глава)                 | 215 g                                   |
| Тегло (интерфейсен модул)              | 145 g                                   |
| Закрепващи винтове (сензорна глава)    | 4 x M4 (немагнитни)                     |
| Закрепващи винтове (интерфейсен модул) | 4 x M4                                  |

| Работна среда                 |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Работен температурен диапазон | -20 ÷ 50 °C                 |
| Влажност (относителна)        | 10 ÷ 80 % (без кондензация) |

## 2.4 Избор на място за инсталиране

 **ВНИМАНИЕ:** Това устройство трябва да бъде инсталирано на места, далеч от градската инфраструктура. Вземете всички необходими предпазни мерки, за да поставите охранващите кабели и линиите за данни по такъв начин, че те да бъдат защитени от гръмотевични удари по време на буря! Директният удар на гръмотевица върху инструмента или неговите кабели ще го унищожи и може да доведе до сериозни повреди в прилежащото електронно оборудване!

MG-01 е научен магнитометър, предназначен да служи като инструмент за дългосрочно записване на трите векторни компонента на интензитета на геомагнитното поле. Със своята изключителна точност и чувствителност, MG-01 има специални изисквания към магнитните свойства на мястото за монтиране и условията на околната среда. Изборът на подходящ измервателен пункт не е лесна задача и изисква висока степен на професионални умения. Много фактори могат да влияят в значителна степен на работата на магнитометъра, а по този начин и на качеството на събраните данни. Голямото значение при избора на място за монтиране става ясно, особено ако вземем предвид, че MG-01 трябва да работи перфектно през времето в продължение на десетилетия.


Сензорната глава е съставена от немагнитни материали. Тя е отговорна за всички измервания и затова трябва да се монтира на място, чисто от каквито и да е магнитни смущения в близост до инструмента. Също така е важно да има и стабилни условия на околната среда, без големи пертурбации, особено в стойностите на околната температура. Един добър пример би бил монтажа на сензорната глава в немагнитна къща, на място без пряка слънчева светлина или в малка изолирана шахта под земята, където температурата е почти постоянна през деня и нощта. Друга възможност е поставянето на сензорната глава в малка немагнитна стая, оборудвана с някакъв вид климатик, за стабилизиране на околната температура. Сензорната глава има вградена автоматична температурна стабилизация на сензорите и на най-чувствителната част от електрониката. В резултат, става възможно намаляването на температурния коефициент до стойности под  $1 \text{ nT}/^\circ\text{C}$ . Въпреки това е препоръчително да има и някаква форма на допълнителен контрол на температурата на средата, в която се намира магнитометъра.

Интерфейсният модул няма специални изисквания за инсталиране и може да бъде монтиран на всяко място, където е налично стандартно компютърно оборудване. Например, във всяко помещение с осигурен достъп на оператора.

Изборът на подходящ наблюдателен пункт за инсталиране на MG-01 е деликатен процес и е необходимо да се извършва в съответствие с конкретните работни задачи. Посочените по-горе бележки трябва да се разглеждат само като най-обща правила и насоки. За повече информация, силно препоръчваме да се запознаете с изискванията относно избора на място за геомагнитна обсерватория, описани в „*Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice*” и „*Guide for Magnetic Repeat Station Surveys*” на Международната асоциация за геомагнетизъм и аерономия (International Association of Geomagnetism and Aeronomy, IAGA) на адрес: <https://iaga-aiga.org>

## 3. StudioMG

StudioMG е софтуерно приложение с интуитивен графичен интерфейс, предназначено за провеждане на геомагнитни измервания в непрекъснат режим с автоматично записване на получените данни, както и за наблюдение на работата и настройка на основните работни параметри на магнитометъра MG-01. Лесната работа със софтуера дава възможност за бърз визуален преглед на събраните данни, а също и за оценка на работното състояние на уреда. Можете да свалите приложението от секцията за техническа информация на страницата на продукта: <https://benev.biz/bg/geophysical-vector-magnetometers-bg.html>

 **БЕЛЕЖКА:** StudioMG не е предназначено да се използва като софтуер за научен анализ и не предоставя никакви математически инструменти за обработка на данни.

### 3.1 Системни изисквания

| Изисквания                    |  |
|-------------------------------|--|
| Операционна система           | Windows XP*, Vista, 7, 8, 8.1, 10; 32-bit / 64-bit |
| Процесор                      | 1 GHz или по-висока; 32-bit / 64-bit               |
| Памет                         | 1 GB или повече                                    |
| Дисплей                       | 1024 x 768 или по-добър                            |
| Свободно дисково пространство | 10 GB** или повече                                 |
| USB                           | 2.0, 3.0 или 3.1; един порт                        |
| Adobe Acrobat Reader          | Версия 9.0 или по-нова                             |

\* Windows XP се нуждае от .NET Framework 2.0 или по-нова версия.

\*\* Необходимо за съхранение на данните от измерванията.

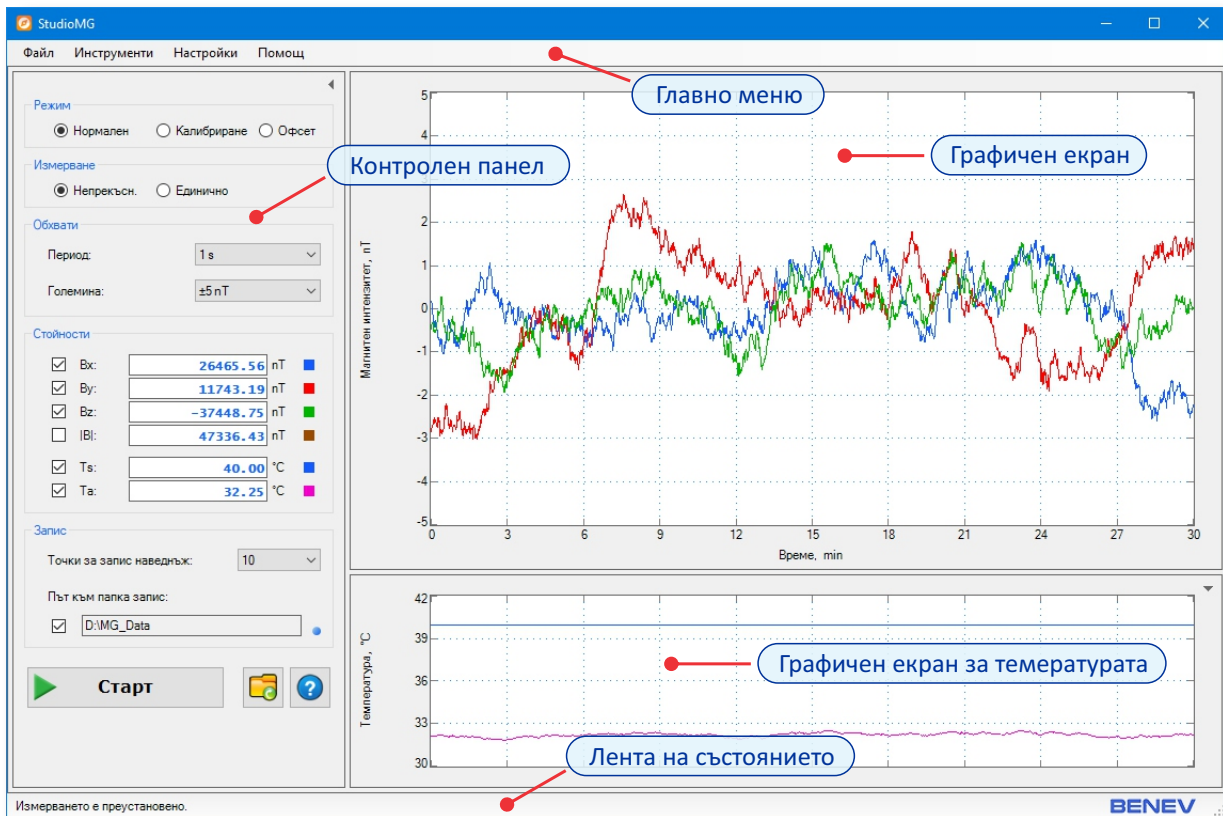
### 3.2 Инсталиране на програмата

StudioMG не изисква специална инсталация. Просто разопакувайте файла StudioMG.zip някъде във вашия компютър, например в C:\Program Files\StudioMG и поставете пряк път към .exe файла на приложението на работния плот или менюто „Старт“. Това е всичко.

 **БЕЛЕЖКА:** Не променяйте структурата и съдържанието на разопакования zip архив.

### 3.3 Главен екран

Главният екран на StudioMG е показан по-долу.



StudioMG главен екран.

### 3.4 Използване на StudioMG за комуникация с MG-01



В секцията *Режим* на Контролния панел можете да изберете един от трите режима на работа:

- *Нормален (по подразбиране)*. MG-01 вътрешно преобразува данните от магнитните измервания, използвайки коефициентите за калибриране (вижте раздел 3.5).
- *Калибриране*. Стойностите от измерванията не се преобразуват вътрешно и могат да бъдат калибрирани в последващата обработка на файловете с данни.
- *Офсет*. Получените данни представляват стойностите на вътрешното отместване (офсет) на магнитните сензори в nT (да не се бърка с трите компонента на вектора на отместването, *bias vector*).



**БЕЛЕЖКА:** Режимът *Офсет* е само за тестови цели и може да се използва като индикатор за правилната работа на магнитометъра. Стойностите на отместването (*offset*) трябва да са в диапазона от стотици до няколко хиляди nT и трябва да останат относително постоянни при значителни промени в околното магнитно поле.





В секцията *Измерване* от Контролния панел можете да изберете:

- *Непрекъснато (по подразбиране)*. MG-01 измерва в непрекъснат режим.
- *Единично*. При всяко натискане на *Старт/Стоп* бутона се прави само едно измерване и процесът спира до следващото щракване върху бутона.



В секцията *Обхвати* можете да изберете периода на семплиране и обхвата за графичното поле. Обхватът на температурния графичен екран се изчислява автоматично при всяко измерване и не зависи от избора на оператора. StudioMG изобразява получените данни центрирани около нулевата ос, като изважда средната стойност при всяка стъпка, преди да изобрази новите данни на екрана. Изборът на обхват за графичния екран сменя единствено вертикалния мащаб на графиката. Това се прави за визуално удобство и не променя оригиналните данни, записани във файла.



**БЕЛЕЖКА:** Когато се избира периода на семплиране, StudioMG автоматично обхваща по времевата ос, като се стреми графиката да показва приблизително 1800 - 2000 точки за всяка от компонентите на магнитното поле.



В секцията *Стойности* можете да видите числови стойности на текущото измерване. От отметката вляво, може да изберете компонентите, които да се изобразяват на екрана.



В секцията *Запис* на Контролния панел можете да изберете броя точки записвани наведнъж. Щракнете върху квадратчето за отметка вляво, за да изберете дали да записвате автоматично събрани данни или не. В текстовото поле се показва пътят към директорията за съхранение на файлове с данни. StudioMG автоматично определя системния диск и създава папка с име „MG\_Data“, например „C:\MG\_Data“. Така че, осигурете достатъчно свободно място на диска за съхраняване на данните.



**БЕЛЕЖКА:** Точният момент на запис се указва чрез еднократно завъртане на индикатора за запис вдясно от текстовото поле.



**БЕЛЕЖКА:** В папката MG\_Data, StudioMG автоматично създава поддиректории с имена показващи месеца и годината на запис. Имената за годишните папки са от вида “yyyy”, а за месечните “MMM”. Във всяка месечна папка данните се записват във файлове с имена от вида “ddMMMyyyy.txt”. Примерно, данните от 15 август 2021 г. ще бъдат записани във файла “C:\MG\_Data\2021\Aug\15Aug2021.txt”. За повече информация вижте Приложение А.



**БЕЛЕЖКА:** Вътрешно, StudioMG съхранява времето като UTC (Universal Time Coordinated) без значение от времевата зона и формат. Така, времето във файловете с данни е винаги UTC. Важно е да поддържате системното време на компютъра синхронизирано.



От менюто *Файл* можете да изберете:

- Да отворите файл с данни от магнитометъра.
- Да запишете изображение на екрана на програмата.



**БЕЛЕЖКА:** Можете да изберете да затворите или да отворите Контролния панел и температурния екран, като щракнете върху бутона със стрелка в горния десен ъгъл. Графичният екран е видим винаги.

### 3.5 Задаване на калибровъчни коефициенти

MG-01 е научен инструмент и една от най-важните задачи за правилното му функциониране е неговото коректно калибриране. Но какво точно означава да се калибрира даден измервателен уред? И как това кореспондира в случая на научно оборудване? Казано най-просто, калибрирането е процеса на определяне на връзката между реалните стойности на дадена физическа величина и изходните показания на измервателното устройство, предназначено да измерва тази величина. С други думи, да разберете каква е разликата между изходните показания на уреда и стандартните стойности подадени на входа му, като посочите и какво е приемливото ниво (толеранс) за тази разлика. Разработването на методите за калибриране е един дълъг и постъпателен процес, който трябва да започне още на етапа на предварителен инструментален проект. В случая с научната апаратура, калибрирането е още по-сложна и деликатна задача, тъй като научните инструменти, по самата си същност, са предназначени да работят на предела на днешното ниво на познание. В този смисъл, геофизичният магнитометър не прави изключение.

Пълното калибриране на 3D векторен магнитометър е предмет на интензивна изследователска работа през последните десетилетия. С развитието на новите технологии за магнитни сензори, напредъкът в методите за калибриране е факт. Научната литература изобилства от публикации, посветени на този проблем. Въпреки безспорните постижения в тази насока, прецизното калибриране на геофизичните векторни магнитометри все още остава истинско предизвикателство. Така че, изборът на метод за калибриране на MG-01 и как той ще бъде приложен на практика, зависи от вас и от вашите професионални и научни умения. Разбира се, зависи и от наличното техническо оборудване.

При работа в *Нормален режим*, MG-01 използва записаните в паметта коефициенти за калибриране, за да направи трансформация на измерените стойности на магнитното поле. Приложеният модел е линеен. Имаме следното основно уравнение:

$$\mathbf{h}_{tr} = \mathbf{A} * (\mathbf{h}_m - \mathbf{b})$$

Тук  $\mathbf{h}_{tr}$  е истинският геомагнитен вектор,  $\mathbf{h}_m$  е векторът със суровите геомагнитни данни,  $\mathbf{A}$  е 3x3 квадратна калибрационна матрица, а  $\mathbf{b}$  е 3-компонентен вектор на отклонението (*bias vector*). Използвайки това уравнение, MG-01 изчислява в реално време стойността на истинския геомагнитен вектор, при всяко отделно измерване и изпраща резултатите към компютъра. Когато работи в режим *Калибриране*, MG-01 връща стойността на „суровия“ геомагнитен вектор, така като е измерен, без допълнително трансформиране. Този режим може да се използва за прилагане на по-сложни модели за калибриране при последващата обработка на файловете с данни.

StudioMG предлага специално разработен инструмент за бърза и лесна настройка на калибровъчните коефициенти в паметта на MG-01 при описания линеен модел.

| Калибрационна матрица |                       |                      |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 9.72685461e-01 [0,0]  | -2.83168512e-01 [0,1] | 5.44146933e-02 [0,2] |
| 7.84121677e-02 [1,0]  | 1.05872309e+00 [1,1]  | 8.78625885e-02 [1,2] |
| -2.14793347e-02 [2,0] | 3.19857240e-01 [2,1]  | 1.24312875e+00 [2,2] |

| Вектор на отклонение |                    |                     |
|----------------------|--------------------|---------------------|
| -1.11921974e+02 [x]  | 5.29207397e+02 [y] | -1.03989929e+03 [z] |

Запис в EEPROM:

Прочети      Запиши      ОК

Диалогов прозорец с калибровъчни коефициенти.



Щракнете върху *Инструменти* → *Калибриране*, за да се покаже диалоговият прозорец с калибровъчните коефициенти. Щракнете върху бутона *Прочетете*, за да видите текущите стойности, записани в MG-01. Можете да ги промените по всяко време. За да запазите новите стойности в паметта, щракнете върху бутона *Запис*. За да ги съхраните постоянно в EEPROM, уверете се, че сте отметнали квадратчето *Запис в EEPROM* преди да щракнете върху бутона *Запис*.



**БЕЛЕЖКА:** Ако искате да приложите друг модел на калибриране, например нелинеен модел, можете да зададете режим *Калибриране*. Или можете да зададете единична калибрационна матрица (с 1 по главния диагонал, а всички други елементи са 0) и нулев вектор на отклонение. В този случай, режимите *Калибриране* и *Нормален* стават еквивалентни и можете да извършите калибрирането на записаните във файлове данни при последващата им обработка.



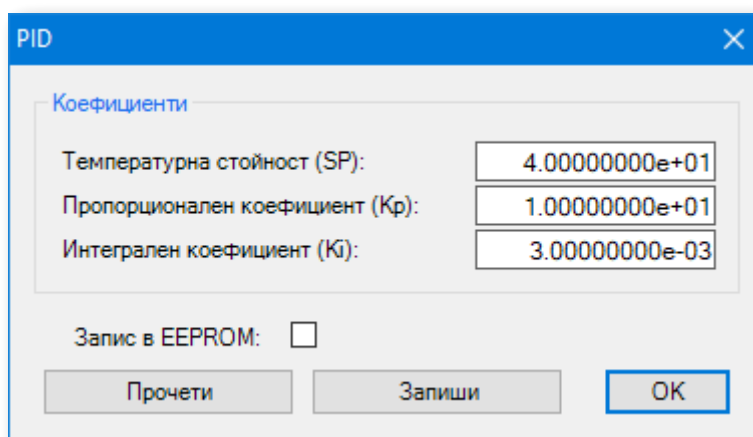
**БЕЛЕЖКА:** Когато StudioMG работи, бутоните *Прочети* и *Запиши* в диалоговия прозорец са неактивни. Спрете текущото измерване, като щракнете върху бутона *Старт/Стоп* в Контролния панел и след това стартирайте отново диалоговия прозорец.




**БЕЛЕЖКА:** MG-01 се произвежда с единична калибрационна матрица и нулев вектор на отклонение, записани в EEPROM на устройството.


## 3.6 Задаване на коефициенти за автоматичен температурен контрол

MG-01 има автоматична вътрешна стабилизация на температурата за трите магнитни сензора. Като следствие, температурният коефициент намаля до стойности под 1 nT/°C (виж техническите спецификации на MG-01). Процесът е базиран на класически PID (Proportional-Integral-Derivative) алгоритъм, като в случая на MG-01, се използват само пропорционалния и интегралния компонент. StudioMG предлага специален инструмент за бърза и лесна настройка на PID коефициентите в паметта на магнитометъра.




Диалогов прозорец с PID коефициенти.

 Щракнете върху *Инструменти* → *PID*, за да се покаже диалоговият прозорец с PID коефициентите. Щракнете върху бутона *Прочетете*, за да видите текущите стойности, записани в MG-01. Можете да ги промените по всяко време. За да запазите новите стойности в паметта, щракнете върху бутона *Запис*. За да ги съхраните постоянно в EEPROM, уверете се, че сте отметнали квадратчето *Запис в EEPROM* преди да щракнете върху бутона *Запис*.

 **БЕЛЕЖКА:** Специфичните стойности на температурата (SP), пропорционалния (Kp) и интегралния (Ki) коефициенти зависят от температурата на обкръжението, в което работи MG-01. Един добър избор би бил SP да се зададе с 5 до 10 °C над максималната околна температура. Като промените стойността на Kp, можете да контролирате реакцията на алгоритъма към смущенията. Чрез промяна на стойността Ki можете да контролирате осцилациите, които се появяват, преди достигането на зададената температура.

 **БЕЛЕЖКА:** Задаването на високи стойности за SP ще увеличи консумацията на енергия.

 **БЕЛЕЖКА:** MG-01 се произвежда с Kp = 10 и Ki = 0.003 записани в EEPROM на устройството.

 **БЕЛЕЖКА:** Когато StudioMG работи, бутоните *Прочети* и *Запиши* в диалоговия прозорец са неактивни. Спрете текущото измерване, като щракнете върху бутона *Старт/Стоп* в Контролния панел и след това стартирайте отново диалоговия прозорец.

### 3.7 Многоезичност

StudioMG е програма разработена с вградена многоезична поддръжка.



За да смените текущия език на програмата:

- От Главното меню отворете секцията *Настройки* → *Език* и посочете избора от Вас език.
- В появяващия се диалогов прозорец потвърдете избора си, след което StudiMG автоматично ще се затвори и стартира наново с обновените езикови настройки.



**БЕЛЕЖКА:** Когато програмата се стартира за първи път на компютъра, активният език по подразбиране е *English*.



**БЕЛЕЖКА:** Помощният файл на програмата се стартира във версията с текущия език на приложението.

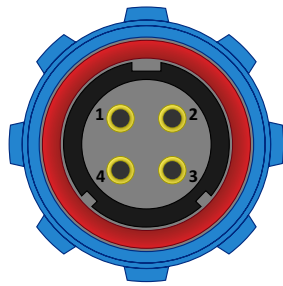
## Приложение А: StudioMG файлов формат за запис на данните

StudioMG записва данните от измерването в текстови файлове. Стойностите, получени при всяка стъпка, се записват на отделен ред. Файлът няма заглавна секция или друга допълнителна информация. Структурата е показана в таблицата по-долу.

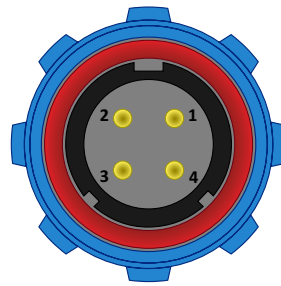
| Позиция  | Стойност                              | Формат                 |
|----------|---------------------------------------|------------------------|
| 0 ÷ 13   | Магнитна компонента $V_x$ , [nT]      | $\pm X.XXXXXXXe\pm XX$ |
| 14       | Интервал                              |                        |
| 15 ÷ 28  | Магнитна компонента $V_y$ , [nT]      | $\pm X.XXXXXXXe\pm XX$ |
| 29       | Интервал                              |                        |
| 30 ÷ 43  | Магнитна компонента $V_z$ , [nT]      | $\pm X.XXXXXXXe\pm XX$ |
| 44       | Интервал                              |                        |
| 45 ÷ 58  | Магнитна норма $ B $ , [nT]           | $\pm X.XXXXXXXe\pm XX$ |
| 59       | Интервал                              |                        |
| 60 ÷ 71  | Температура на сензорите $T_s$ , [°C] | $\pm X.XXXXXe\pm XX$   |
| 72       | Интервал                              |                        |
| 73 ÷ 84  | Околна температура $T_a$ , [°C]       | $\pm X.XXXXXe\pm XX$   |
| 85       | Интервал                              |                        |
| 86 ÷ 94  | Дата                                  | dd-МММ-yy              |
| 95       | Интервал                              |                        |
| 96 ÷ 106 | Време (UTC)                           | HH:mm:ss.ss            |

 **БЕЛЕЖКА:** StudioMG не имплементира стандартния IAGA файлов формат.

## Приложение В: Кабелни връзки




WEiPU SP1310/S4IN



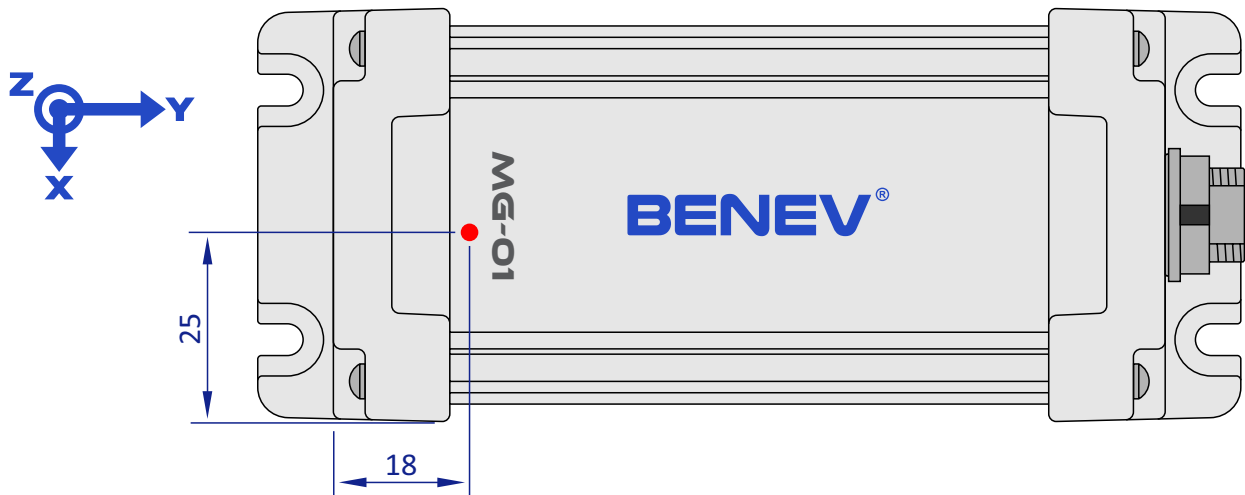
WEiPU SP1310/P4IN

| SP1310/S4 | SP1310/P4 | Име   | Напрежение  |
|-----------|-----------|-------|-------------|
| Pin 1     | Pin 1     | RX    | 0 V / 3.3 V |
| Pin 2     | Pin 2     | TX    | 0 V / 3.3 V |
| Pin 3     | Pin 3     | +12 V | 12 ÷ 24 V   |
| Pin 4     | Pin 4     | GND   | 0 V         |

 **БЕЛЕЖКА:** Екранировката на кабела е свързана към GND (Pin 4) и в двата края.

## Приложение С: Позиция и ориентация на сензорите

Сензорна глава (изглед отгоре)



Сензорна глава (изглед отстрани)



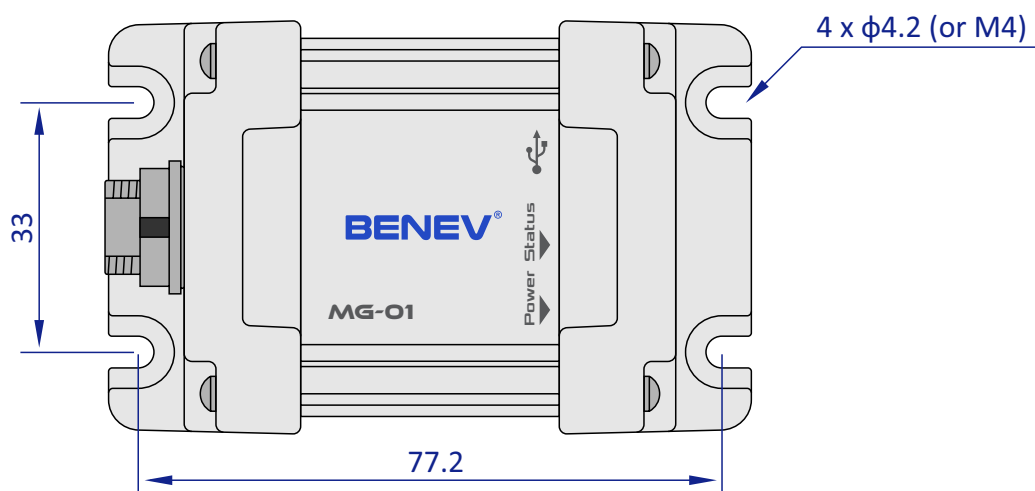
⚠ БЕЛЕЖКА: Всички размери са в mm.

⚠ БЕЛЕЖКА: Позицията и ориентацията на сензорната триада е показана на долната страна на кутията на сензорната глава.

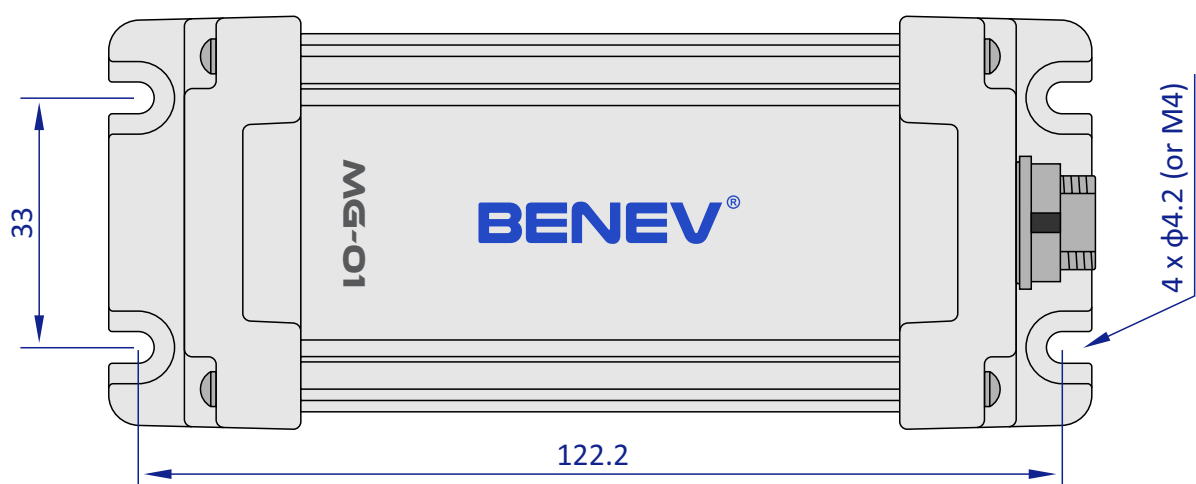


## Приложение D: Монтажни чертежи

Интерфейсен модул



Сензорна глава



 БЕЛЕЖКА: Всички размери са в mm.

## Азбучен указател

|  |        |   |       |
|--|--------|---|-------|
| <b>Анизотропна магниторезистивност</b> | 1, 4   | <b>Магниторезистивност</b>                    | 1, 4  |
| <b>Barber pole</b>                     | 4      | <b>Офсет</b>                                  | 9     |
| <b>Вектор на намагнитването</b>        | 4      | <b>Период на семплиране</b>                   | 10    |
| <b>Вектор на отклонението</b>          | 11, 12 | <b>Пермалой (NiFe)</b>                        | 4     |
| <b>Геомагнитно поле</b>                | 1, 7   | <b>Пропорционален коефициент</b>              | 13    |
| <b>EEPROM</b>                          | 12, 13 | <b>Proportional-Integral-Derivative (PID)</b> | 13    |
| <b>Земно магнитно поле</b>             | 1, 7   | <b>Температурна стабилизация</b>              | 3, 13 |
| <b>Исходна трансферна функция</b>      | 4      | <b>Температурна стойност</b>                  | 13    |
| <b>Интегрален коефициент</b>           | 13     | <b>Уитстонов мост</b>                         | 4     |
| <b>Калибрационна матрица</b>           | 11, 12 |   |       |
| <b>Координирано време (UTC)</b>        | 10     |   |       |
| <b>„Лесна“ ос</b>                      | 4      |   |       |
| <b>Линеен модел</b>                    | 11     |   |       |



