Зеленоградский нанотехнологический центр

МИКРОСХЕМА ДАТЧИКА ТОКА

К1382НУ01А5

Инструкция по применению

ver. 2022-07-07

АО «Зеленоградский нанотехнологический центр»
Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6
Тел.: +7(499)720-69-72
E-mail: sales@zntc.ru

Оглавление

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ ... 3

2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ... 3

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ... 4

4. ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ ... 5

6. УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ... 6

7. ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ ... 6

8. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ... 6

9. РЕЖИМЫ РАБОТЫ МИКРОСХЕМЫ ... 13

9.1. Включение ... 13
9.2. Нормальный режим работы ... 13
9.3. Режим ожидания ... 13
9.4. Режим программирования ... 13

10. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ БЛОКОВ МИКРОСХЕМЫ ... 13

10.1. Сенсорная система с датчиками Холла ... 13
10.2. Блок формирования тока магнитного смещения для встроенного сенсора ... 13
10.3. Блок формирования тока магнитного смещения внешнего сенсора ... 14
10.4. Программируемый усилитель (PGA1) ... 14
10.5. Программируемый усилитель (PGA2) ... 14
10.6. НЧ фильтр ... 14
10.7. Дополнительный усилитель (HG) ... 14
10.8. Преобразование аналогового сигнала в код ... 14
10.9. Блок температурной коррекции TCORR ... 15
10.10. Тактовый генератор ... 18
10.11. Программируемый источник опорного напряжения ... 18
10.12. Блок формирования опорных уровней для АЦП1 ... 18
10.13. Настройки тактовой частоты АЦП1 и АЦП2 ... 18
10.14. Блок аналогового выхода ... 19
10.15. Блок формирования сигнала широтно-импульсной модуляции PWM_UNIT ... 19
10.16. Блок цифрового компаратора MCOMP ... 20
10.17. Блок интерфейса SPI ... 20
10.18. Регистр CHIP_ID ... 21

11. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ... 21

11.1. Режим записи ... 22
11.2. Режим чтения ... 24

12. СХЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ... 25

12.1. Датчик тока со встроенной сенсорной системой ... 25
12.2. Датчик тока с внешним магниторезистивным сенсором ... 26
12.3. Схема подключения микроконтроллера к нескольким микросхемам по общей шине SPI ... 27

13. ПОРЯДОК НАСТРОЙКИ МИКРОСХЕМЫ ... 27

13.1. Настройка преобразования сигналов встроенной сенсорной системы ... 28
13.1.1. Настройка напряжения смещения нуля (U_{IO}) ... 28
13.1.2. Настройка тока магнитного смещения (ACODE) ... 28
13.1.3. Настройка крутизны преобразования ... 28
13.2. Настройка преобразования сигналов внешней сенсорной системы ... 29
13.2.1. Настройка напряжения смещения нуля (U_{IO}) ... 29
13.2.2. Настройка тока магнитного смещения (TCURR) ... 29
13.2.3. Настройка крутизны преобразования ... 30
13.3. Температурная коррекция выходного сигнала ... 30

14. ПРИМЕЧАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ... 32

1. Общие сведения, назначение

Настоящее руководство по применению распространяется на интегральную микросхему К1382НУ01А5 (далее микросхема) для применения в бесконтактных датчиках тока.

Принцип действия бесконтактных датчиков тока основан на преобразовании напряжённости магнитного поля проводника с током в электрический сигнал.

В качестве магниточувствительного элемента бесконтактного датчика тока может использоваться внешний магниторезистивный или встроенный сенсор на эффекте Холла.

Технология изготовления элементов на основе эффекта Холла совместима с КМОП-технологией, что позволяет разместить их на одном кристалле с микросхемой, но по сравнению с магниторезистивными, они менее чувствительны, имеют более высокий уровень собственного шума и в большей степени зависимы от температуры окружающей среды.

Оба типа чувствительных элементов могут использоваться в качестве источника сигнала для обработки микросхемой. Основные технические характеристики микросхемы отображены в Табл. 1.

2. Принцип работы

Микросхема усиливает сигналы внешнего или встроенного сенсора, собранного на магниточувствительных элементах и преобразует с помощью АЦП в 12 битный код.

В микросхеме предусмотрена возможность математической коррекции температурной зависимости магниточувствительного сенсора на основании данных встроенного датчика температуры. Скорректированный 12 битный код преобразуется в электрические сигналы стандартных выходных интерфейсов:

- цифровой последовательный (SSI),
- аналоговый линейный (ратиометрический),
- логический (компаратор с программируемым порогом переключения),
- выход широтно-импульсной модуляции (PWM).

Микросхема позволяет программировать настройки параметров преобразования в соответствующие регистры и хранить их значения во встроенной энергонезависимой памяти (EEPROM).

Микросхема имеет встроенный источник тока для питания внешних магниторезистивных чувствительных элементов.

3. Технические характеристики

Табл. 1 – Технические характеристики микросхемы

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		T °C
		не менее	не более	
Чувствительность встроенной сенсорной системы, мТл/В	B	–	1	- 40…+60
Выходное напряжение низкого уровня цифровых сигналов, В, при U_{CC} = 5 В ±10 % и I_{OL} ≤ 8 мА	U_{OL}	–	0,4	25±10
		–	0,6	- 60; 125
Выходное напряжение высокого уровня цифровых сигналов, В, при:	U_{OH}			
- U_{CC} = 5 В ±10 % и I_{OH} ≤ 3 мА;		U_{CC}–0,3	–	25±10
			–	- 60;125
- U_{CC} = 5 В ±10 % и I_{OH} ≤ 8 мА		0,7 • U_{CC}	–	- 60…125
Ток нагрузки низкого уровня цифровых выходов, мА	I_{OL}	–	8	- 60…125
Ток нагрузки высокого уровня цифровых выходов, мА	I_{OH}	- 8	–	- 60…125
Отклонение выходного напряжения покоя на выводе AOUT, В, при U_{CC}=(5,0±0,5) В; I_{OL}=0; U_{ID}=0	ΔU_{OQ_AOUT}	-0,72	0,72	25±10
		-09	-0,9	- 60; 125
Полная шкала выходного сигнала, В, при:	U_{FS}			
- U_{CC} = 4,5 В		3,38	3,83	- 60…125
- U_{CC} = 5,0 В		3,75	4,25	- 60…125
- U_{CC} = 5,5 В		4,13	4,67	- 60…125
Погрешность преобразования (на AOUT), при U_{CC} = (5,0±0,5) В	Err_an	- 0,8	0,8	
Выходное напряжение низкого уровня выхода компаратора, В, при U_{CC} = 5 В ±10 % и I_{OL_CMP}≤30 мА	U_{OL_CMP}	–	0,8	25±10
		–	1,0	- 60; 125
Ток нагрузки выхода компаратора (типа открытый коллектор), мА	I_{O_CMP}	–	30	- 60…125
Ток потребления, мА, при U_{CC} = 5 В ±10 %; U_{IL}≤ 0,2•U_{CC}; U_{ID}=0; I_{O_EX} = 0; I_{O_CMP}= 0	I_{CC}	–	23	25±10
		–	25	- 60;125
Ток потребления в состоянии ожидания, мА, при: U_{CC} = 5 В ±10 %; U_{IH}≥ 0,7•U_{CC}; U_{ID}=0; I_{O_EX} = 0; I_{O_CMP}= 0	I_{CCQ}	–	10	25±10
		–	10	- 60; 125
Выходной ток питания внешнего чувствительного элемента, мА, при U_{CC} = 5 В ±10 % и R_L = 1,5 кОм ±5 %	I_{O_IEXT}	1,5	1,95	25±10
		1,45	2,0	- 60; 125
Полоса пропускания, кГц, при U_{CC} = 5 В ±10 %	BW	0 – 50	–	- 60…125
Коэффициент усиления дифференциального сигнала по напряжению по входам INP – INN минимальный, ед. при:	A_{VD_MIN}			
- U_{CC} = 5 В ±10 %, U_{ID} = ±20 мВ; U_{ICM} = 0,5•U_{CC};		38	42	25±10
		34,55	46,2	- 60;125
- U_{CC} = 4,5 В ±10 %, U_{ID} = ±20 мВ; U_{ICM} = 0,5•U_{CC};		34,2	37,8	25±10
		31,1	41,58	- 60; 125
- U_{CC} = 5,5 В ±10 %, U_{ID} = ±20 мВ; U_{ICM} = 0,5•U_{CC};		41,8	46,2	25±10
		38,0	50,82	- 60; 125

Эксплуатационные ограничения:

- Микросхема допускает эксплуатацию в условиях и режимах по ГОСТ 18725:
  - повышенная рабочая температура среды: + 125 °C;
  - пониженная рабочая температура среды: – 60 °C.
- Для повышения точности измерений тока при использовании встроенной сенсорной системы рекомендуется проводить магнитное экранирование микросхемы.

4. Функциональное назначение выводов

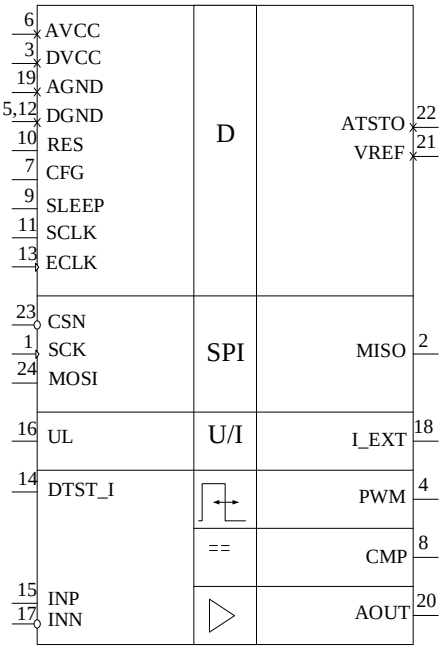
Табл. 2 - Функциональное назначение выводов микросхемы

Номер вывода	Обозначение	Тип	Наименование вывода
1	SCK	DI-PD	Вход тактового сигнала SPI-интерфейса
2	MISO	DO	Выход данных SPI-интерфейса
3	DVCC	S	Цифровое питание
4	PWM	DO	Выход ШИМ-сигнала
5	DGND	S	Общий вывод цифровых цепей
6	AVDD	S	Аналоговое питание
7	CFG	DI-PD	Вход конфигурирования
8	CMP	OD	Выход компаратора (типа открытый сток)
9	SLEEP	DI-PD	Вход перевода микросхемы в ждущий режим
10	RES	DI-PU	Внешний сигнал сброса микросхемы
11	SCLK	DI-PD	Вход выбора тактового сигнала
12	DGND	S	Общий вывод цифровых цепей
13	ECLK	DI-PU	Вход внешнего тактового сигнала
14	DTST_I	DI-PD	Цифровой вход тестовых данных
15	INP	AI	Вход неинвертирующий
16	UL	AI	Опорный нижний уровень
17	INN	AI	Вход инвертирующий
18	IEXT	AIO	Выход тока смещения внешнего датчика
19	AGND	S	Общий вывод аналоговых цепей
20	AOUT	AO	Аналоговый выход
21	VREF	AO	Выход опорного напряжения (половина напряжения питания)
22	ATSTO	AO	Тестовый выход аналогового напряжения
23	CSN	DI-PU	Выбор кристалла SPI-интерфейса
24	MOSI	DI-PD	Вход данных SPI-интерфейса

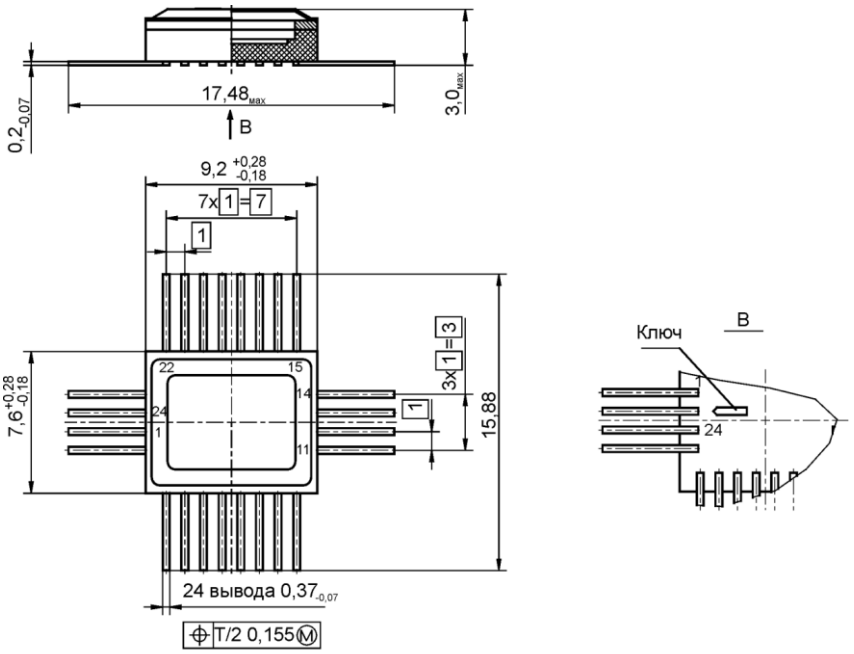
Обозначения типа вывода:

AO – аналоговой выход
AIO – аналоговый вход/выход
DI-PU – цифровой вход с подтяжкой к логической единице
DI-PD – цифровой вход с подтяжкой к логическому нулю
DO – цифровой выход с нагрузочной способностью 8 мА
OD – цифровой выход типа открытый сток
S – вывод питания

6. Условно-графическое изображение



7. Габаритные размеры



Корпус 5122.24-2

8. Описание структурной схемы

На Рис. 1 показана структурная схема микросхемы.

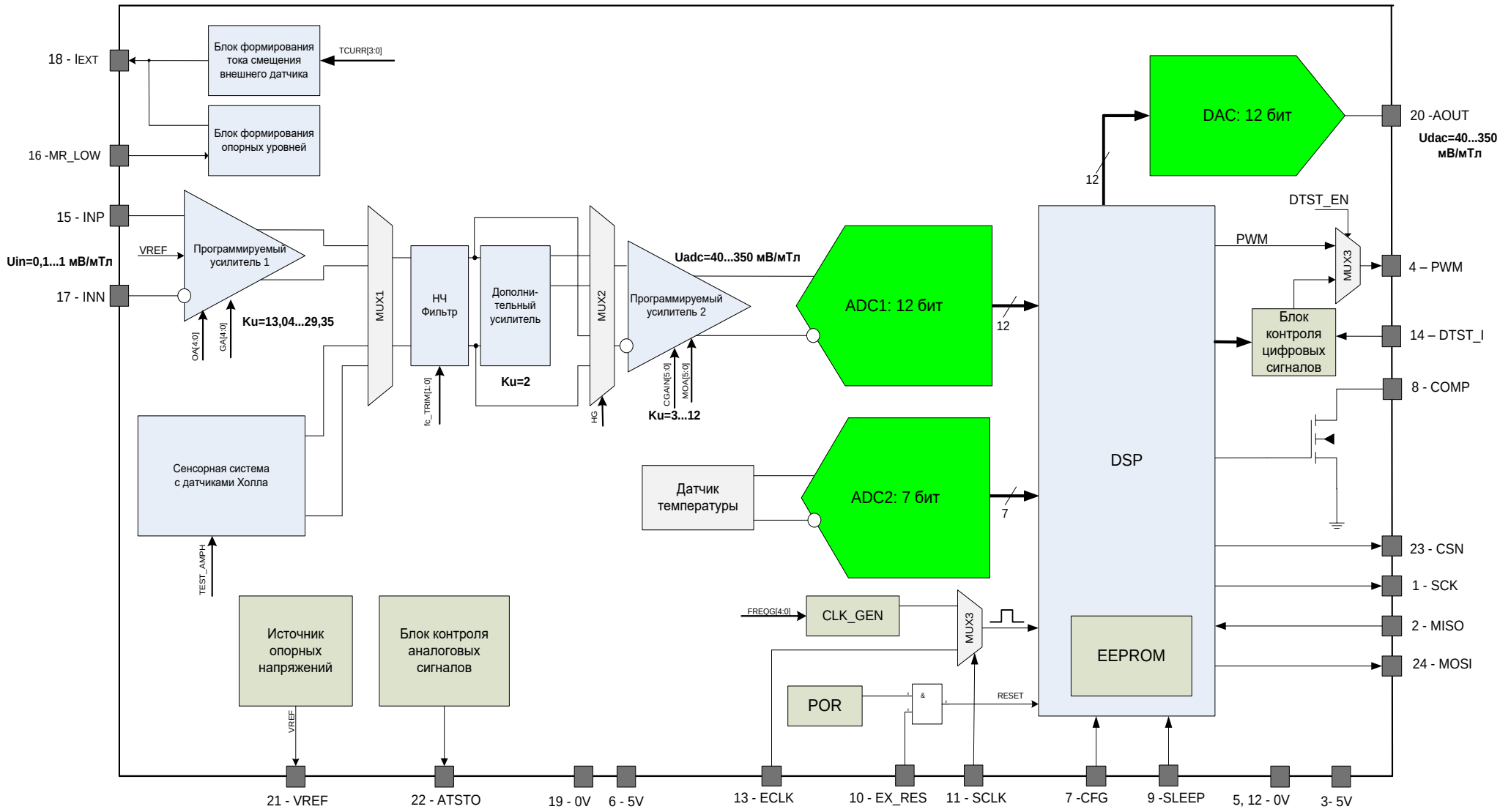


Рис. 1 – Структурная схема микросхемы

Микросхема содержит источник питания (магнитного смещения) сенсора. Сопротивление магниточувствительных элементов увеличивается с ростом температуры Рис. 2. При формировании магнитного смещения сенсора стабилизированным напряжением зависимость чувствительности от температуры составит 0,35 %/°С. Таким образом, чувствительность может меняться на 60 % в диапазоне рабочих температур. Если магнитное смещение сенсора формировать стабилизированным током, то его чувствительность изменяется всего на 0,05%/С. Блок формирования тока магнитного смещения внешнего сенсора обеспечивает температурно-стабилизированный ток при изменении сопротивления сенсора в диапазоне рабочих температур. Значение тока задаётся 8-разрядным ЦАП.

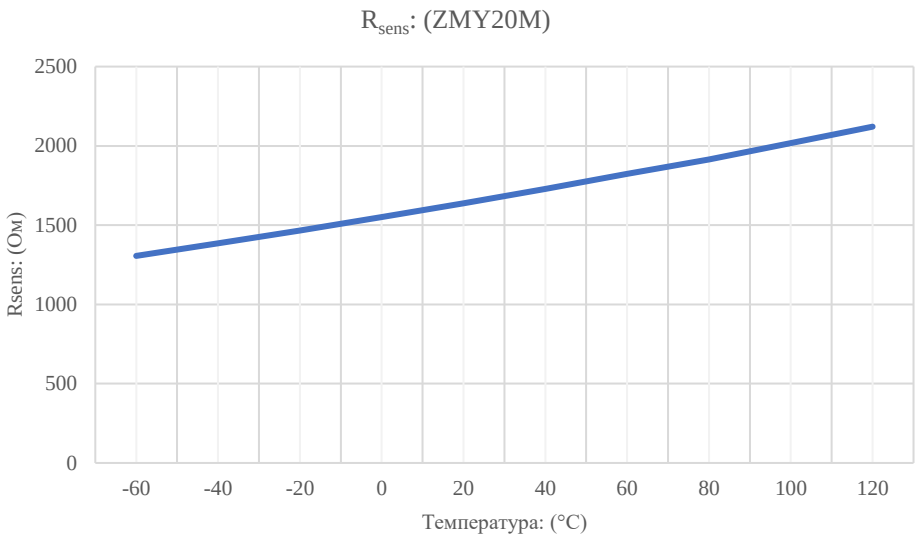


Рис. 2 - Температурная зависимость сопротивления диагонали моста AMR-сенсора ZMY20M

Сенсор представляет собой четыре магниторезистора, включенных по мостовой схеме. Напряжение питания (ток смещения) подаётся на одну диагональ моста, а выходной сигнал снимается с другой. Конструктивно магниторезисторы ориентированы таким образом, что при воздействии внешнего планарного магнитного поля сопротивления резисторов в каждом плече моста изменяются в противоположные стороны. Мостовой сенсор в четыре раза эффективнее одиночного датчика, но для обработки сигнала необходим дифференциальный усилитель.

На

Рис. 3 показан вариант установки внешнего сенсора ZMY20M над дорожкой печатной платы с измеряемым током. Дорожка может быть на той же стороне платы, где установлен датчик, на обратной стороне платы или во внутренних слоях многослойной платы для обеспечения требуемой величины протекающего тока. Учитывая, что при удалении проводника с током от чувствительного элемента уровень выходного сигнала датчика снижается, и появляется возможность измерять большие токи.

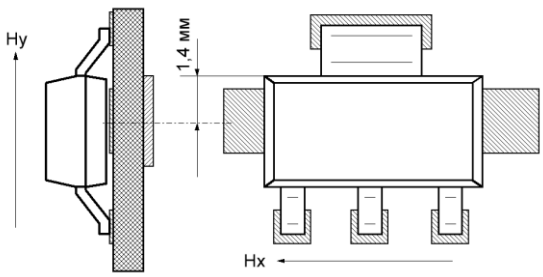


Рис. 3- Расположение проводника с током под внешним сенсором ZMY20M

Стрелкой показано направление тока, приводящее к положительному отклонению выходного сигнала на аналоговом выходе (относительно половины напряжения питания). Измеряемый ток не имеет гальванической связи с микросхемой: он подводится к проводнику печатной платы, расположенном под корпусом микросхемы.

Выходные сигналы внешнего сенсора, поступающие на входы INP-INN, усиливаются программируемым дифференциальным усилителем PGA1 и поступают на мультиплексор MUX1, переключающий вход аналогового тракта микросхемы для использования внешнего сенсора на магниторезисторах или встроенного на датчиках Холла.

Встроенный блок преобразования магнитного поля состоит из:
- двух пар датчиков Холла с собственными усилителями сигнала,
- сумматора токов,
- усилителей,
- преобразователя в напряжение,
- выходного усилителя.

Во избежание остаточной намагниченности датчиков Холла производится переключение направления протекания тока смещения датчиков (модуляция полезного сигнала). После дифференциального усиления суммарного сигнала производится обратная демодуляция сигнала.

На Рис. 4 показан вариант использования встроенных элементов Холла для измерения поля тока в проводнике печатной платы, расположенном под керамическим корпусом микросхемы. Проводник с измеряемым током должен размещаться под серединой корпуса микросхемы, чтобы протекающий в измерительной цепи ток создавал магнитное поле для двух пар чувствительных элементов Холла, развёрнутых относительно друг друга на 180°. Магнитный зазор у каждой пары датчиков 2 мм.

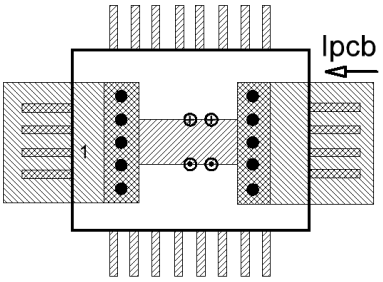


Рис. 4 - Расположение проводника с током под встроенным сенсором

На границах дорожки условно показано расположение чувствительных элементов и направление силовых линий магнитного поля. Измеряемый ток не имеет гальванической связи с микросхемой: он подводится к измеряемой дорожке с обратной стороны платы через металлизированные отверстия.

Далее обрабатываемый сигнал (внешнего или встроенного сенсора) проходит активный НЧ-фильтр 2-го порядка с программируемой частотой среза для подавления коммутационных помех на частоте прерывания сигналов встроенного сенсора и для подавления спектральных составляющих выше частоты дискретизации АЦП1.

Для дополнительного усиления слабых сигналов предусмотрен дополнительный усилитель HG, который включается в тракт мультиплексором MUX2. Программируемый усилитель PGA2 позволяет установить требуемое значение усиления до АЦП1. Обеспечение необходимой полосы пропускания всего полного сигнала при высоком полном усилении проводится выбором соответствующих коэффициентов усиления и полосы пропускания отдельных каскадов.

Сформированный аналоговый сигнал поступает на вход АЦП1 последовательного приближения, где преобразуется в 12-ти битный цифровой код.

Сигнал от встроенного температурного датчика поступает на 7-ми разрядный АЦП2 для формирования кода, необходимого для коррекции температурной зависимости выходного сигнала внешнего или внутреннего датчиков магнитного поля.

Кодовые сигналы АЦП1 и АЦП2 поступают на блок температурной коррекции амплитуды выходного сигнала в составе блока цифровой обработки сигнала. Цифровой сигнал, скомпенсированный по температуре, подаётся на:
- 12-разрядный ЦАП для формирования напряжения на аналоговом выходе микросхемы,
- цифровой компаратор напряжения,

– блок (PWM) формирования ШИМ сигнала.

Блок цифровой обработки сигнала обеспечивает работу последовательного интерфейса передачи данных и управление работой блоков в соответствии с данными, занесенными в блоки EEPROM и блоки регистров.

Блок цифрового компаратора сравнивает скорректированное значение кода величины сигнала с заданными минимальным и максимальным порогами и формирует выходной сигнал в зависимости от требуемой логики.

Блок формирования широтно-импульсного сигнала формирует сигнал различной длительности периода с коэффициентом заполнения периода, зависящим от величины входного сигнала.

Блок энергонезависимой памяти (EEPROM) и блок регистров в составе блока цифровой обработки сигнала обеспечивают возможность хранения настроек микросхемы (аналогового и цифрового трактов) для загрузки их значений в регистры микросхемы при подаче напряжения питания.

Программирование настроек микросхемы осуществляется по SPI-интерфейсу (выводы микросхемы SCK, CSN, MISO и MOSI).

Для формирования тактового сигнала, необходимого для работы блоков, в микросхеме предусмотрена возможность использования как внешнего тактового сигнала, так и сигнала встроенного (программируемого) генератора.

Режимы работ блоков определяет источник опорного напряжения на ширине запрещенной зоны, выходное напряжение которого используется для генерации опорных уровней АЦП1, АЦП2 и токов смещения блоков микросхемы.

Режимы работы блоков по постоянному току выбраны с учетом нормы суммарного тока потребления микросхемы. Не используемые пользователем блоки микросхемы (например, блок компаратора или ШИМ-блок) могут быть отключены для снижения тока потребления.

Описание регистров настройки параметров микросхемы, приведено в Табл. 3.

Табл. 3 – Описание энергонезависимых регистров настройки

Название	Назначение	Описание	Значение по умолчанию (десятичное)
	Настройки встроенной сенсорной системы		
ACODE[7:0]	Настройка температурно-компенсирующего тока смещения через элементы Холла (0…255)	Раздел 10.2	162
FR_DIS	Отключение встроенной сенсорной системы на элементах Холла и подключение внешнего сенсора	Раздел 10.1	1
HALL_SET[3:0]	Включение первичных преобразователей Холла	Раздел 10.1	1 1 1 1
LC[1:0]*	Настройка величины тока смещения через элементы Холла	Раздел 10.2	0 0
	Настройки внешней сенсорной системы		
GA[4:0]*	Настройка усиления первичного программируемого усилителя PGA1	Раздел 10.4	0
MR_CURR_DIS	Отключение источника питания внешнего сенсора	Раздел 10.3	0
OA[5:0] (знаковый)	Настройка напряжения смещения нуля первичного дифференциального усилителя PGA1	Раздел 10.4	*настр.*

Название	Назначение	Описание	Значение по умолчанию (десятичное)
SEL_MR_VREF	Выбор падения напряжения на резисторе в токовой цепи внешнего сенсора в качестве опорного напряжения для АЦП1	Раздел 10.12	0
TCURR[3:0]*	Настройка температурно-компенсирующего тока смещения внешнего чувствительного элемента	Раздел 10.3	8
	Настройка аналогового тракта		
CGAIN[5:0]	Настройка усиления выходного программируемого усилителя PGA2	Раздел 10.5	*настр.*
fc_TRIM[1:0]	Настройка полосы пропускания ФНЧ	Раздел 10.6	2
HG	Включение дополнительного усилителя	Раздел 10.7	0
MOA[4:0] (знаков.)	Настройка напряжения смещения нуля выходного дифференциального усилителя PGA2	Раздел 10.5	*настр.*
	Настройка блока температурной коррекции		
A1REG[8:0] (знак.)	Регистр линейного члена полинома	Раздел 10.9	0
A2REG[8:0] (знак.)	Регистр квадратичного члена полинома		4
I0REG[11:0]	Регистр постоянного смещения выходного сигнала		204
TCORR_EN	Включение температурной коррекции		0
T0REG[6:0]	Регистр кода средней температуры		67
	Настройка параметров преобразования		
ADC1_DIS	Выключение основного АЦП1	Раздел 10.13	0
ADC1_CONT[1:0]	Настройка тактовой частоты АЦП1		0
ADC2_CONT[1:0]	Настройка тактовой частоты АЦП2		0
ASTO_SET	Выбор тестовых сигналов на выходе ATSTO	Раздел 10.11	0
BG[2:0]	Коррекция напряжения источника опорного напряжения	Раздел 10.11	*настр.*
CF[4:0]	Настройка частоты встроенного тактового генератора	Раздел 10.10	*настр.*
	Настройка интерфейсов		
COMP1[11:0]	Порог 1 компаратора	Раздел 10.16	1024
COMP2[11:0]	Порог 2 компаратора		3072
CMP_MODE[1:0]	Настройка блока компаратора		3
COMP_DIS	Отключение блока компаратора		1
DAC_DIS	Отключение ЦАП формирования напряжения на аналоговом выходе.	Раздел 10.8	0
SPI_D	Режим работы интерфейса SPI	Раздел 10.17	0
PWM_SET[1:0]	Настройка скважности ШИМ	Раздел 10.14	3
PWM_DIS	Отключение блока ШИМ		0
	Идентификатор микросхемы		
CHIP_ID[15:0]	Идентификационный номер микросхемы	Раздел 10.18	0

Для доступа к регистрам и области EEPROM организовано общее адресное пространство. Карта расположения регистров в адресном пространстве показана в Табл. 4.

Табл. 4 – Карта адресации регистров микросхемы

Адр	Биты																Доступ	Описание
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
0						CF[4:0]					CGAIN [5:0]						RW	Область EEPROM 32x16
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
1						BG[2:0]			MR_ CURR _DIS	FR_ DIS	SEL _MR_ VREF	MOA [4:0]					RW	
												знак	код					
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
2						OA [5:0]						GA [4:0]					RW	
						знак	Код											
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
3							ACODE [7:0]								fc_TRIM [1:0]		RW	
							9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
4									ADC1_ CONT [1:0]		ADC2_ CONT [1:0]		PWM_SET[1:0]		PWM _DIS	DAC _DIS	RW	
									7	6	5	4	3	2	1	0		
5						COMP1 [10:0]											RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
6						COMP2 [10:0]											RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
7						COMP1 [11]	COMP2 [11]	COMP _DIS	CMP_MODE [1:0]		ATSTO _DIS	SPI_D	TCURR [3:0]				RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
8						IOREG[10:0]											RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
9						TCORR _EN	IOREG [11]	TOREG [6:0]							LC [1:0]		RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
10								A1REG [8:0]									RW	
								знак	код									
								8	7	6	5	4	3	2	1	0		
11								A2REG [8:0]									RW	
								знак	код									
								8	7	6	5	4	3	2	1	0		
12						CHIP_ID[10:0]											RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
13												CHIP_ID[15:11]					RW	
												4	3	2	1	0		
14						-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	RW	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
15										SEL_ POL	HALL_SET				ADC1 _DIS	HG	RW	
											5	4	3	2	1	0		
…	область не используется																	
32										STATUS_REG[6:0]							RO	Область регистров
										6	5	4	3	2	1	0		
33				TEST_REG[12:0]													RW	
				12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
34	CHIP_HARD_ID[15:0]																RO	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
35					DAC_SET[11:0]												RW	
					11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
36					MDATA[11:0]												RO	
					11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
37					MDATA_CORR[11:0]												RO	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
38										TDATA[6:0]							RO	
										6	5	4	3	2	1	0		
39										DTSTO_SET[3:0]				ATSTO_SET[2:0]			RW	
										6	5	4	3	2	1	0		
40						EECRC[10:0]											RO	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
41						EEHE[10:0]											RO	
						10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		

- зелёным цветом выделены биты, в которые записаны «1» по умолчанию, в соответствии с Табл. 3.
- синим цветом выделены биты регистров, установленные при контроле параметров микросхемы производителем
- обозначения: RW – чтение и запись, RO – только чтение.
  Adr:0…1 – область энергонезависимых регистров, Adr: 32…41 – область сигнальных и тестовых регистров

9. Режимы работы микросхемы

9.1. Включение

После подачи напряжения питания по сигналу внутреннего сброса происходит установка внутренних регистров микросхемы. После снятия сигнала сброса начинается процесс перегрузки данных из EEPROM в регистры, продолжающийся около 100 мкс (на номинальной тактовой частоте 8 МГц). После окончания перегрузки значения регистров и сигналов настройки микросхема приведена в исходное положение в соответствии с данными, записанными в EEPROM.

9.2. Нормальный режим работы

При комбинации управляющих сигналов CFG=0, RES=1, SLEEP=0 (режим по умолчанию, реализован притяжками входов внутри микросхемы), микросхема работает в нормальном режиме: работают аналоговый выход и чтение данных по SPI.

Из нормального режима работы микросхема может быть переведена в режим программирования с использованием интерфейса SPI (CFG=0) или в режим ожидания (SLEEP=1).

9.3. Режим ожидания

Микросхема может быть переведена в режим пониженного энергопотребления - режим ожидания при задании управляющих сигналов SLEEP=1, RES=1, CFG=0. В данном режиме выключаются аналоговые блоки, АЦП1 и АЦП2, входные усилители, выходной ЦАП, источник питания магниторезистора.

Регистры цифровых настроек микросхемы в режиме ожидания сохраняют свои последние значения. Цифровая часть в режиме ожидания работает, возможен обмен данными по интерфейсу SPI.

9.4. Режим программирования

В режиме программирования встроенной EEPROM (управляющие сигналы CFG=1, RES=1, SLEEP=0) возможна настройка параметров аналогового тракта, преобразования, выбор режимов работы микросхемы. Описание процесса программирования приведено в разделе 11.

10. Описание работы блоков микросхемы

10.1. Сенсорная система с датчиками Холла

Микросхема содержит встроенную сенсорную систему, в которой преобразование магнитного поля измеряемого тока в напряжение выполняет группа из четырех датчиков Холла. Подключение четырёх датчиков задаётся битами регистра HALL_SET[3:0].

При использовании внешней сенсорной системы встроенную сенсорную систему необходимо отключить, установкой FR_DIS=1.

10.2. Блок формирования тока магнитного смещения для встроенного сенсора

Блок формирует температурно-стабилизированный ток смещения встроенных датчиков Холла. Уровень тока задаётся регистром ACODE[7:0]. Ступенчатая регулировка тока осуществляется регистром LC[1:0]. Установка в «1» любого из двух битов LC[1:0] приводит к снижению тока на 25%, установка обоих битов приводит к снижению тока на 50 %.

После изменения значения ACODE необходима корректировка дифференциального напряжения смещения выходного усилителя PGA2 регистром OA[5:0].

10.3. Блок формирования тока магнитного смещения внешнего сенсора

Задание необходимого уровня тока смещения внешних магниторезистивных датчиков обеспечивается 8-разрядным ЦАП, управляемым регистром TCURR[3:0]. Заданный уровень температурно-стабилизированного тока в диапазоне 0,5-1,944 мА поддерживается автоматической регулировкой падения напряжения на регулирующем элементе источника тока.

При использовании внешнего, более мощного источника тока смещения можно повысить чувствительность сенсора. В этом случае встроенный источник тока необходимо отключить установкой MR_CURR_DIS=1.

10.4. Программируемый усилитель (PGA1)

Входные сигналы с внешнего датчика подаются через буферные усилители на дифференциальный усилитель PGA1 с программируемым коэффициентом усиления и программируемым дифференциальным смещением. Коэффициент усиления программируется регистром GA[4:0] линейно в пределах 13,05-29,34.

Программирование напряжения смещения нуля дифференциального усилителя PGA1 осуществляется регистром OA[5:0]. Регистр знаковый, знак задаётся старшим разрядом.

10.5. Программируемый усилитель (PGA2)

Входные сигналы с ФНЧ или с дополнительного усилителя HG подаются на дифференциальный усилитель PGA2 с программируемым коэффициентом усиления и программируемым дифференциальным смещением.

Коэффициент усиления PGA2 программируется линейно регистром CGAIN[5:0].

Программирование напряжения смещения нуля дифференциального усилителя PGA2 осуществляется регистром MOA[5:0]. Регистр знаковый, знак задаётся старшим разрядом.

10.6. НЧ фильтр

С мультиплексора MUX2 входные сигналы подаются на блок активного НЧ - фильтра 2-го порядка дифференциальной архитектуры LPF. Коэффициент усиления блока LPF приближен к 1. Программирование частоты среза осуществляется регистрами fc_TRIM[1:0] в пределах 75…180 кГц.

10.7. Дополнительный усилитель (HG)

Входные сигналы подаются с блока LPF на дополнительный усилитель. Фиксированный коэффициент усиления равен 2. Архитектура блока – активный дифференциальный ФНЧ 2-го порядка без программирования частоты среза. Расчетное значение частоты среза 100 кГц.

Усилитель может быть отключен установкой бита HG=0. После изменения значения HG=0 необходима корректировка дифференциального напряжения смещения выходного PGA2.

10.8. Преобразование аналогового сигнала в код

Выходной сигнал аналогового тракта (выход программируемого усилителя 2, Рис. 1) оцифровывается в блоке АЦП1 разрядностью 12 бит (MDATA). Код АЦП1 переводится в знаковое представление MDATA, путём вычитания из кода 2048 (половину диапазона АЦП1). Знаковые представления записываются в прямом коде (старший разряд числа - знаковый).

Изменение температуры отслеживается встроенным линейным датчиком температуры с 7-ми разрядным АЦП2 последовательного приближения для возможности реализации внешней температурной коррекции выходного кода MDATA.

10.9. Блок температурной коррекции TCORR

Температурная стабильность работы датчика тока определяется свойствами магниточувствительных элементов в диапазоне рабочих температур. Изменение сопротивления сенсоров разного типа показано на Рис. 5, Рис. 8. Линейность преобразования измеряемого тока в напряжение на аналоговом выходе микросхемы показана на Рис. 6, Рис. 9. Зависимость напряжения на аналоговом выходе микросхемы от измеряемого тока в диапазоне рабочих температур показана на Рис. 7, Рис. 10.

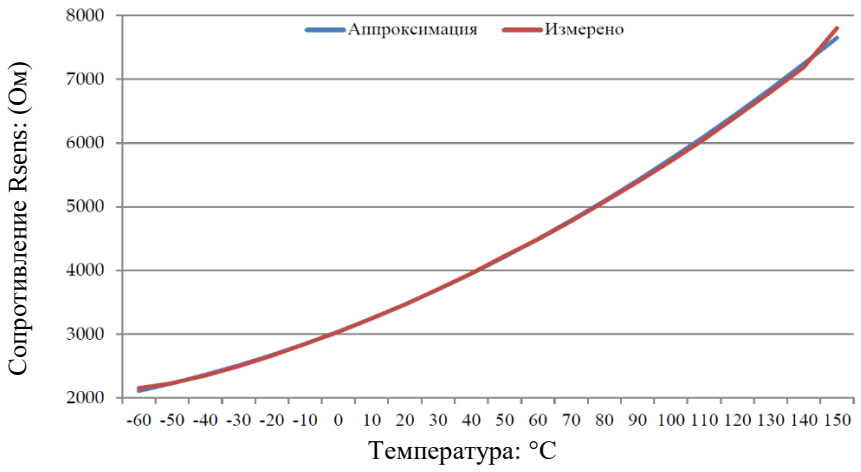


Рис. 5 - Зависимость сопротивления встроенного сенсора от температуры

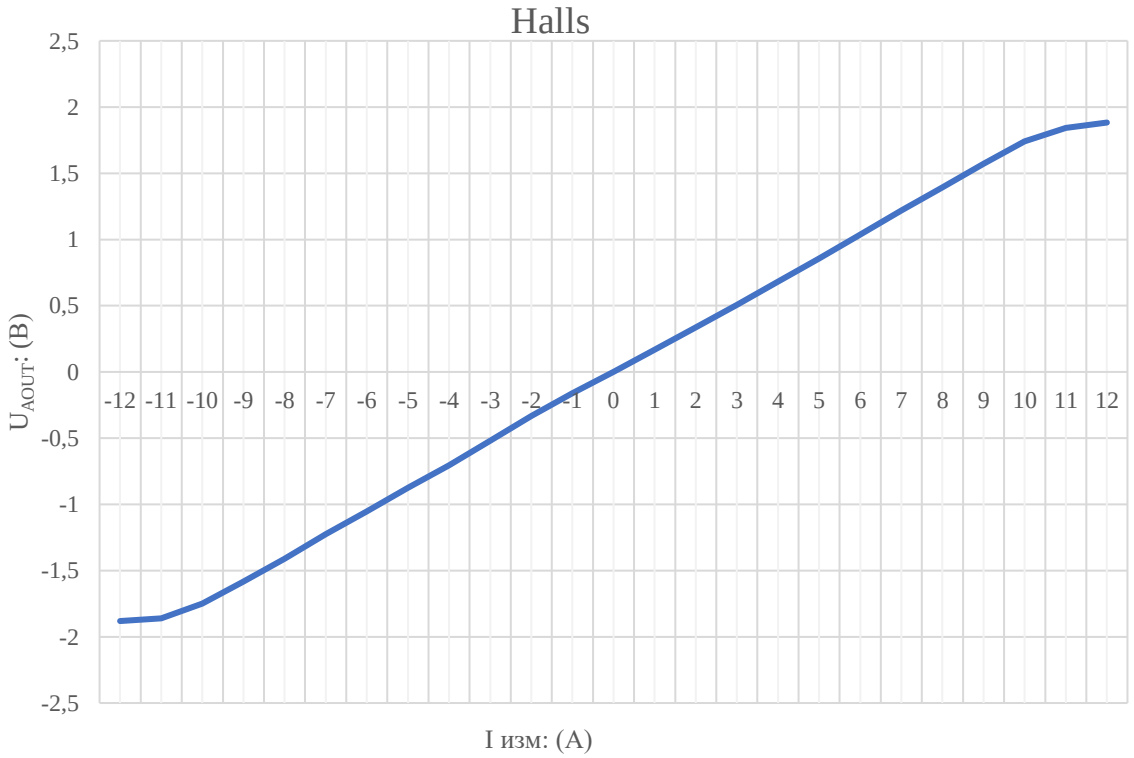


Рис. 6 - Линейность преобразования измеряемого тока в напряжение
с использованием встроенного сенсора при температуре 20°C (относительно UREF = UCC/2).

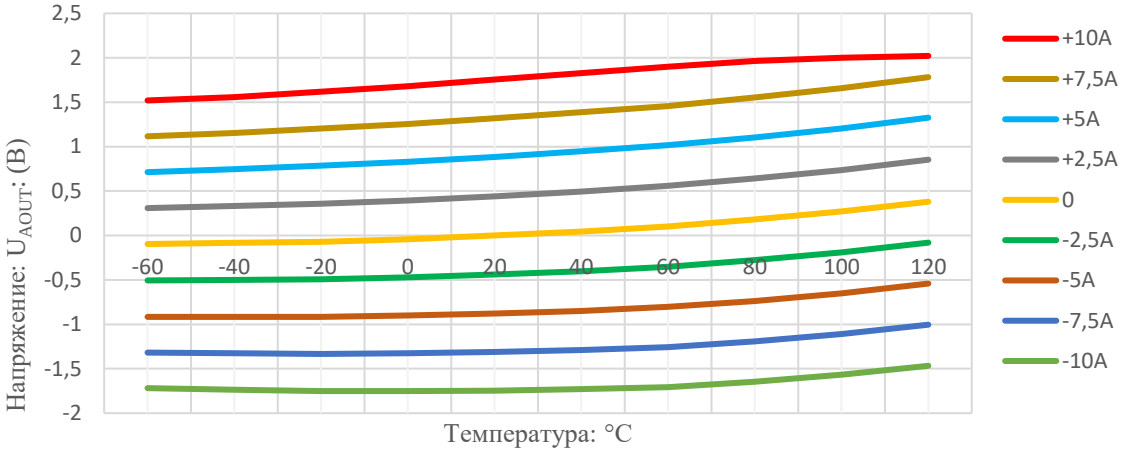


Рис. 7 – Зависимость напряжения на аналоговом выходе микросхемы от измеряемого тока в диапазоне рабочих температур при использовании встроенного сенсора.

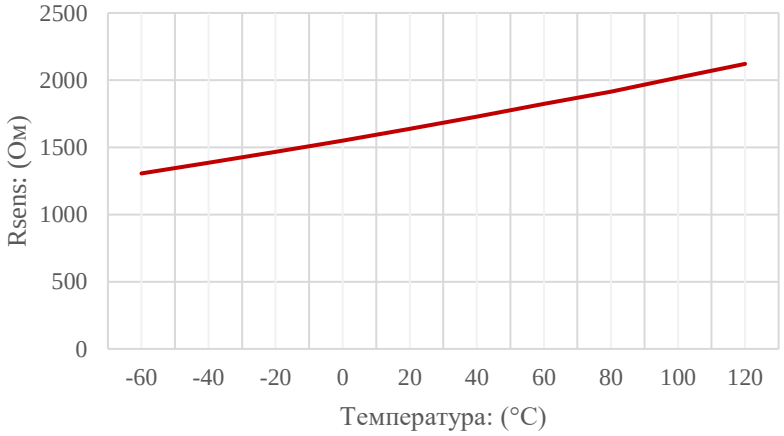


Рис. 8 - Зависимость сопротивления диагонали питания моста внешнего сенсора ZMY20M от температуры

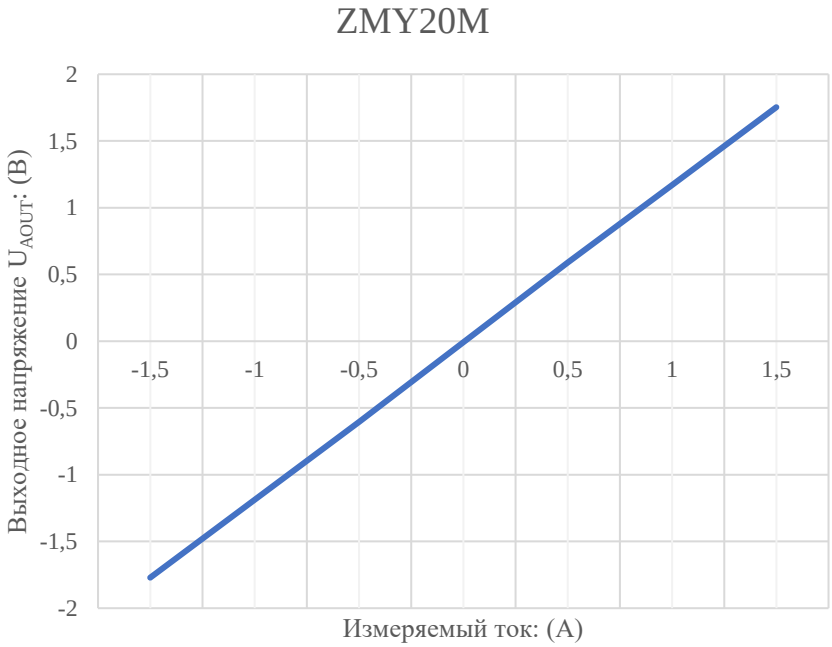


Рис. 9 - Линейность преобразования измеряемого тока в напряжение (относительно UREF = UCC/2) с использованием внешнего сенсора ZMY20M при температуре 20°C

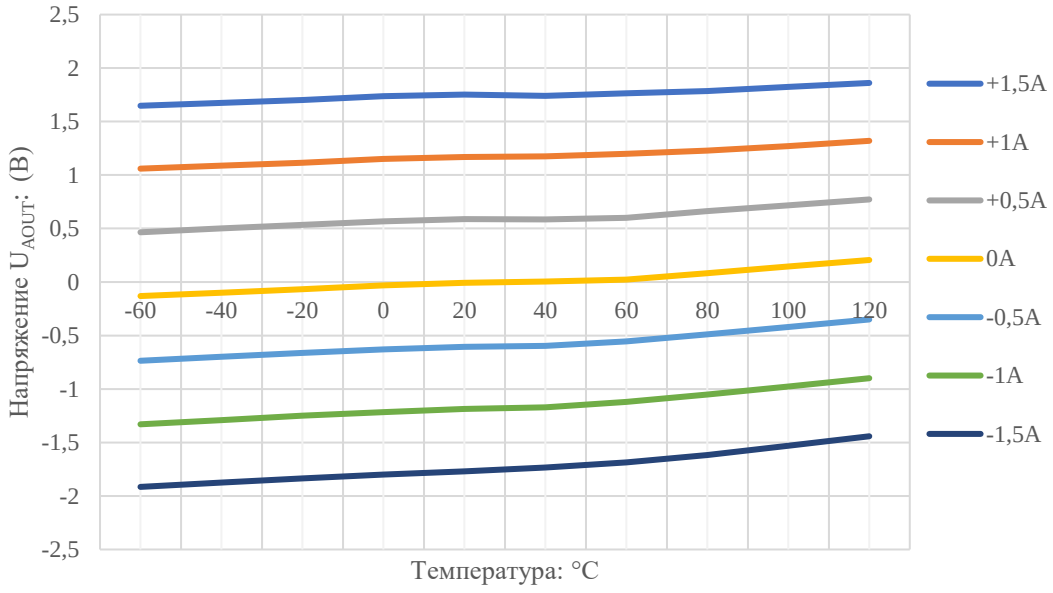


Рис. 10 - Зависимость напряжения на аналоговом выходе микросхемы от измеряемого тока в диапазоне рабочих температур при использовании внешнего сенсора ZMY20M (относительно UREF = UCC/2)

Для температурной коррекции оцифрованного сигнала внешнего магниторезистивного датчика предусмотрено использование данных температурного АЦП2. Значения TDATA в диапазоне рабочих температур приведено в Табл. 5.

Табл. 5 - Значения кода (TDATA) температурного АЦП 2

Температура, °С	Буквенное обозначение	Норма		Режим измерения
		не менее	не более	
– 60	$CODE_L$	–	31	
25	$CODE_N$	64	–	U_{CC}=(5,0±0,5) В
125	$CODE_H$	115	–	

Разрешающая способность измерения температуры кристалла (Rat) не более 2,4 °С

Считывание кода температуры по цифровому интерфейсу

Считывание кода температуры (значения кода АЦП2) производится по выводу MISO в рабочем режиме микросхемы (CFG=0) при следующих значениях настроек:

- SPI_D=0 (adr. 7);
- ADC1_TST=0; ADC2_TST=1 (adr. 33)

Данные кода температуры отображаются в регистре TDATA[6:0] (adr. 38).

Термокоррекция может быть, как внешней, так и внутренней. Внутренняя термокоррекция выполняется математическим пересчётом кода MDATA токового АЦП1 в MDATA_CORR относительно TOREG.

Значения коэффициентов A1REG и A2REG температурной коррекция выходного кода MDATA рассчитываются по полиному:

$$MDATA_CORR = \frac{\left(A2REG * [\mathrm{TDATA} - \mathrm{T0REG}]^2 + 256 * A1REG * [\mathrm{TDATA} - \mathrm{T0REG}] + 2^{24}\right) * MDATA}{2^{24}} + IOREG$$

где:

Регистры данных
MDATA_CORR[11:0] – скорректированные данные
MDATA [11:0] – данные основного АЦП1
TDATA [6:0] – данные температурного АЦП2

Регистры настройки
A1REG [8:0] – регистр линейного члена полинома (знаковый, знак задаётся старшим разрядом),
A2REG [8:0] – регистр квадратичного члена полинома (знаковый, знак задаётся старшим разрядом),
I0REG [11:0] =2048 - регистр постоянного смещения выходного сигнала,
T0REG [6:0] – регистр кода средней рабочей температуры.

Максимальная степень коррекции ограничивается разрядностью регистров A1REG и A2REG. При недостаточности встроенной коррекции необходимо применять внешнюю коррекцию, используя код встроенного датчика температуры.

Встроенная температурная коррекции включается регистром TCORR_EN=1. При выключенной коррекции (TCORR_EN=0) выходной код MDATA_CORR=MDATA.

10.10. Тактовый генератор

Генератор предназначен для формирования тактовой частоты сигнала CLK, используемого в цифровых блоках и некоторых аналоговых блоках, связанных с датчиком Холла. Настройка частоты производится регистром CF[4:0] в пределах ± 30 %.

При PWM_SET[1:0]=0 частота на выходе PWM должна быть F_{CLK} /16384 = 488 Гц.

Отключение генератора выполняется по сигналу RES=0 при необходимости использования внешнего тактового сигнала.

10.11. Программируемый источник опорного напряжения

Источник предназначен для формирования опорного напряжения VREF, используемого для формирования токов смещения датчиков, опорных уровней АЦП1, АЦП2 и сигналов выходных интерфейсов микросхемы. Коррекция значения напряжения (1,213…1,234 В) для компенсации технологического разброса производится регистром BG[2:0] (в пределах 4 мВ), при ASTO_SET=001 на выходе ATSTO.

10.12. Блок формирования опорных уровней для АЦП1

Для формирования опорных уровней АЦП1, АЦП2 и тока магнитного смещения сенсора используется стабилизированный источник опорного напряжения.

Регистр SEL_MR_VREF предоставляет возможность выбора источника опорного напряжения на АЦП1 (Табл. 6).

Табл. 6 – Выбор источника опорного напряжения для АЦП1

SEL_MR_VREF	Описание режима
0 (по умолчанию)	Опорное напряжение формируется от внутреннего термостабильного источника опорного напряжения
1	Опорное напряжение формируется падением напряжения на резисторе R2 в цепи питания сенсора термостабильным источником тока. Оно подаётся на вход UL (вывод 16) и зависит от значения TCURR.

10.13. Настройки тактовой частоты АЦП1 и АЦП2

Табл. 7 – Настройка тактовой частоты токового АЦП1

ADC1_CONT[1:0]	ADC1_CLK

Табл. 8 – Настройка тактовой частоты температурного АЦП2

ADC2_CONT[1:0]	ADC2_CLK

0 (по умолчанию)	CLK/4
1	CLK/2
2	CLK
3	CLK/8

0 (по умолчанию)	CLK/64
1	CLK/32
2	CLK/16
3	CLK/128

АЦП1 может быть отключён, установкой бита ADC1_DIS=1.

10.14. Блок аналогового выхода

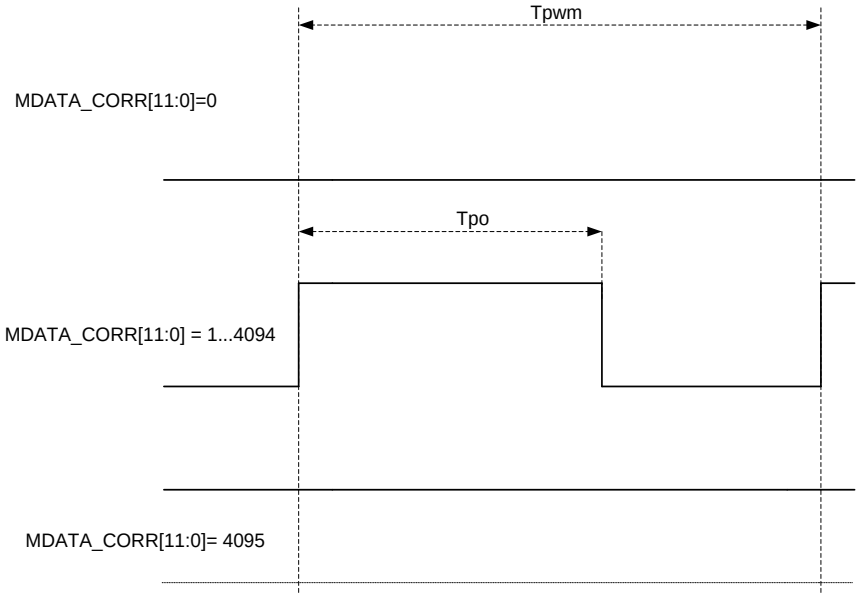
Аналоговый выходной сигнал формируется на выходе AOUT (вывод 20) 12-битным ЦАП с выходным буферным усилителем из сигнала MDATA или MDATA_CORR, если температурная коррекция включена (TCORR_EN=1).

Аналоговый выход может быть отключён установкой бита DAC_DIS=1.

10.15. Блок формирования сигнала широтно-импульсной модуляции PWM_UNIT

Блок формирования широтно-импульсного сигнала PWM_UNIT, в зависимости от настроек (Табл. 9), формирует ШИМ-сигнал (Рис. 11) различной длительности периода с коэффициентом заполнения периода, зависящим от величины входного сигнала MDATA_CORR[11:0].

При отсутствии магнитного поля ШИМ сигнал имеет скважность 50%. При появлении магнитного поля скважность изменяется в большую или меньшую сторону, в зависимости от направления магнитного поля.



$$T_{PWM} = \frac{1}{f_{PWM}};$$

$$T_{PO} = \frac{MDATA_CORR}{4096} \times T_{PWM};$$

Рис. 11 – Временная диаграмма работы блока ШИМ

Табл. 9 – Настройки блока PWM

Значение PWM_SET[1:0]	Состояние выхода
0 (по умолчанию)	f_{PWM}= CLK / 16384 (488 Гц @ CLK=8 МГц)
1	f_{PWM}= CLK / 8192 (976 Гц @ CLK=8 МГц)

2	f_{PWM}= CLK / 4096 (1953 Гц @ CLK=8 МГц)
3	f_{PWM}= CLK / 2048 (3906 Гц @ CLK=8 МГц)

10.16. Блок цифрового компаратора MCOMP

Блок компаратора MCOMP сравнивает скорректированное значение кода величины сигнала MDATA_CORR[11:0] с минимальным и максимальным порогами COMP1[11:0] и COMP2[11:0], и в зависимости от состояний управляющих сигналов EN_COMP; CMP_MODE, (Табл. 10), формирует выходной сигнал на выходе COMP_OUT с полярностью, заданной COMP_OUT (Табл. 11).

Табл. 10 – Таблица истинности блока MCOMP

RESET	EN_COMP	CMP_MODE[0]	MDATA_CORR[11:0]	COMP_OUT_TMP
0	x	x	x	0
1	0	x	x	0
1	1	0	MDATA_CORR≤ COMP1	0
1	1	0	MDATA_CORR>COMP1	1
1	1	1	COMP1<MDATA_CORR< COMP2	0
1	1	1	MDATA_CORR≤COMP1 || MDATA_CORR≥COMP2	1

CMP_MODE[0]=0 – однопороговый режим
CMP_MODE[0]=1 – двухпороговый режим

Табл. 11 – Таблица полярности выхода блока MCOMP

CMP_MODE[1]	COMP_OUT	Примечание
0	COMP_OUT_TMP	нормальный выходной сигнал
1	~ COMP_OUT_TMP	инвертированный выходной сигнал

Выход COMP_OUT стробируется тактовой частотой

10.17. Блок интерфейса SPI

Блок интерфейса SPI может работать в режимах считывания последовательности данных (по умолчанию), или в режиме настройки (чтения/записи регистров).

Переключение между режимами работы осуществляется входом CFG и регистрами в соответствии с Табл. 12.

Табл. 12 – Режимы работы интерфейса SPI

Управляющие сигналы				Описание	Длина посылки	Формат посылки
CFG (вывод)	SPI_D (регистр)	RUN_ADC1_TST (регистр)	RUN_ADC2_TST (регистр)			
0	0	0	0	режим считывания последовательности данных (только MDATA_CORR)	16 бит	Табл. 13
0	1	0	0	режим считывания последовательности данных со всех АЦП	48 бит	Табл. 14
1	x	x	x	Режим настройки	16 бит	–

В режиме настройки (CFG = 1) блок позволяет устанавливать параметры регистров и записывать параметры в EEPROM.

В режиме считывания данных (CFG=0) блок передает данные по выходу MISO. Команды по входу MOSI игнорируются. SPI_MODE=0, формат SPI посылки в разных режимах работы описан в Табл. 13 и Табл. 14.

Табл. 13 - Формат SPI посылки в нормальном режиме работы

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRC	*АЦП1*		ERRE	*Данные MDATA_CORR[11:0]*											
	OTRL	OTRH		[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

MDATA_CORR[11:0] – скорректированные данные,
OTRH – выход сигнала на входе АЦП1 за пределы опорного напряжения VREFH,
OTRL – выход сигнала на входе АЦП1 за пределы опорного напряжения VREFL,
ERRE – ошибка контроля четности данных в регистре,
CRC – контрольная сумма.

Табл. 14 – Формат SPI посылки в режиме передачи данных со всех АЦП

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CRC	0	0	ADC2_EOC	0	0	0	0	0	*Данные TDATA[6:0]*						
	0	0		0	0	0	0	0	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
CRC	0	0	0	*Данные MDATA[11:0]*											
	0	0	0	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
CRC	*АЦП1*		ADC1_EOC	*Данные MDATA_CORR[11:0]*											
	OTRL	OTRH		[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

TDATA [6:0] – данные температурного АЦП2,
MDATA [11:0] – данные основного АЦП1,
MDATA_CORR[11:0] –данные основного АЦП1 после термокоррекции,
ADC1_EOC – индикация окончания преобразования данных основного АЦП1,
ADC2_EOC – индикация окончания преобразования данных температурного АЦП2,
OTRH – выход сигнала на входе АЦП1 за пределы опорного напряжения VREFH,
OTRL – выход сигнала на входе АЦП1 за пределы опорного напряжения VREFL,
CRC – контрольная сумма (на 15 бит посылки).

10.18. Регистр CHIP_ID

Регистр представляет собой идентификатор типа, года выпуска и версии кристалла. Значение CHIP_HARD_ID зашивается при проектировании кристалла и позволяет однозначно установить версию разработки микросхемы. Структура регистра показана в Табл. 15.

Табл. 15 – Структура регистра CHIP _ID для микросхемы

CHIP_ID[15:0]															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Тип микросхемы (1)						Год разработки микросхемы (2015)						Версия микросхемы (1)			
0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1

Например: CHIP_ HARD_ID =16’b000001 001111 0001=16’h04F1

11. Настройка параметров

В режиме настройки производится конфигурирование микросхемы. Микросхема – SLAVE, программатор – MASTER. Для перехода в режим настройки необходимо вход CFG установить в «1» и использовать команды интерфейса SPI в формате, приведённом в Табл. 16.

Табл. 16 – Команды интерфейса

№ п/п	Команда	Формат команды CMD															
		COMMAND								NULL BYTE							
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1	Чтение по адресу ADDR[5:0]=0…41	0	ADDR						1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Запись по адресу ADDR[5:0]=0…41	0	ADDR						0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Стирание EEPROM по адресу ADDR[4:0]=0…30	1	0	ADDR					0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Запись одного слова во все ячейки EEPROM	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Стирание (запись нулей) во все ячейки EEPROM	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Перегрузка значений из памяти в регистры	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Внимание! Попытка записи по адресу 31 приводит к блочной записи слова во все ячейки

11.1. Режим записи

Запись в область EEPROM (Addr 0…31) происходит в 2 этапа:

1) этап - стирание:

- MASTER устанавливает CSN в низкий уровень, запускает сигнал тактовой частоты SCK и через выход MOSI передаёт 2-х байтную команду стирания данных (Табл. 16, п.3), содержащую адрес строки в области EEPROM.
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK (Рис. 12).

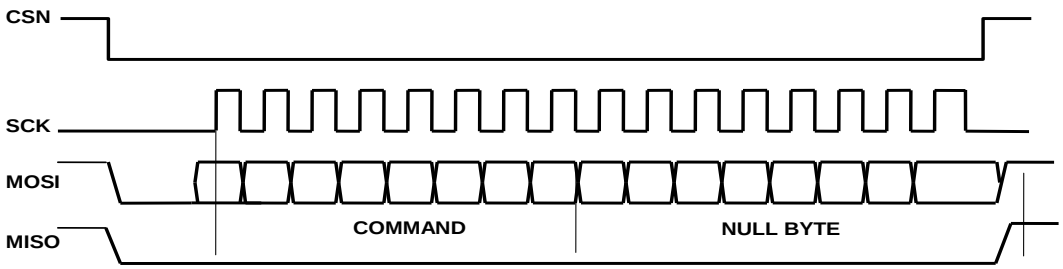


Рис. 12 – Первый цикл обмена через SPI при стирании

- Через 10…50 мс MASTER устанавливает CSN в низкий уровень, запускает сигнал тактовой частоты SCK и передаёт 2 пустых байта;
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK. (Рис. 13);

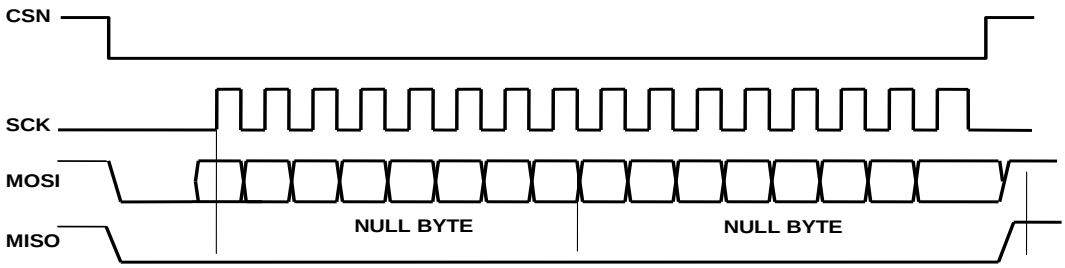


Рис. 13 – Второй цикл обмена через SPI при стирании

2) этап – запись:

- MASTER устанавливает CSN в низкий уровень, запускает сигнал тактовой частоты SCK и через выход MOSI передает 2-х байтную команду записи данных (Табл. 16, п.2), содержащую адрес в области EEPROM.
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK (Рис. 14);

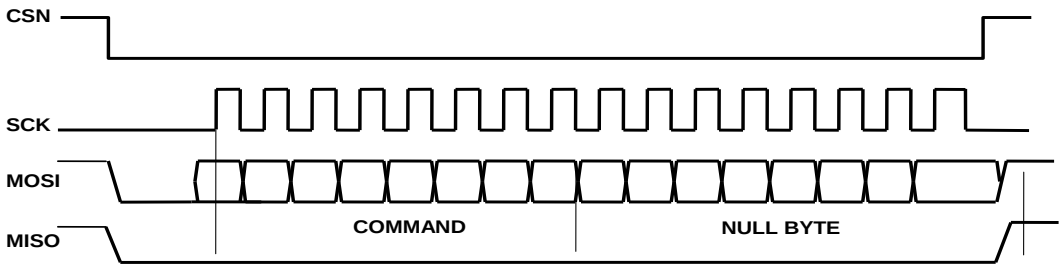


Рис. 14 – Первый цикл обмена через SPI при записи

- Через 10…50 мс MASTER устанавливает CSN в низкий уровень, запускает сигнал тактовой частоты SCK и передаёт 2 байта данных, записываемых в указанную адресную строку в соответствии с картой адресации регистров микросхемы (Табл. 4). Команде доступна область не только EEPROM, но и область регистров, предназначенных для записи (Adr: 33, 35, 39).
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK (Рис. 15).

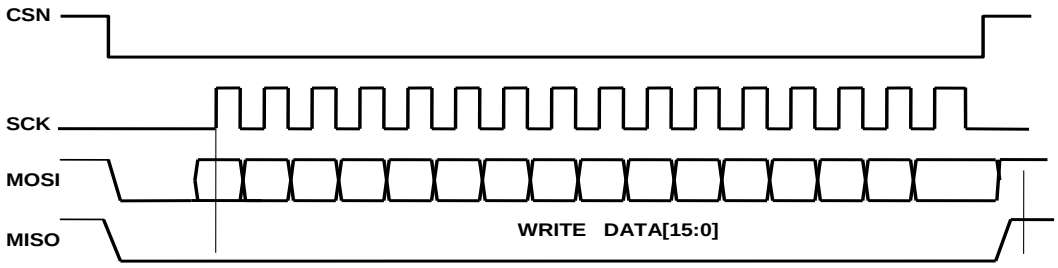


Рис. 15 – Второй цикл обмена через SPI при записи

После записи параметров в область EEPROM (Addr: 0…31) необходимо выполнить перегрузку значений из памяти в регистры (Табл. 16, п.6).

(COMMAND [11111110] + NULL BYTE) & (NULL BYTE + NULL BYTE)

Запись в область регистров (Addr: 32…41) выполняется двумя двухбайтными посылками, без цикла стирания.

11.2. Режим чтения

При чтении посылается двухбайтная посылка (команда с адресом и нулевой байт) Табл. 16. В ответной посылке приходит двухбайтное содержимое указанного адреса.

- MASTER устанавливает CSN в низкий уровень и запускает сигнал тактовой частоты SCK и через выход MOSI передает команду чтения (Табл. 16, п.1) с указанием адреса и нулевой байт (8 бит = 0);
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK (Рис. 16).

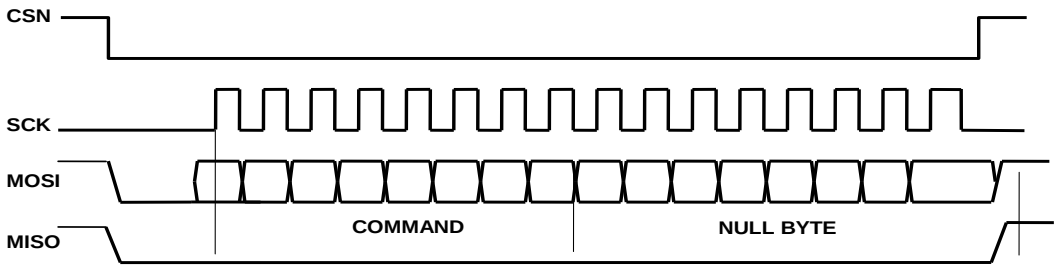


Рис. 16 – Первый цикл обмена через SPI, чтение

- Через 10…50 мс MASTER устанавливает CSN в низкий уровень и запускает сигнал тактовой частоты SCK;
- SLAVE передаёт 2 байта данных из указанного адреса через выход MISO;
- MASTER устанавливает CSN в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK (Рис. 17).

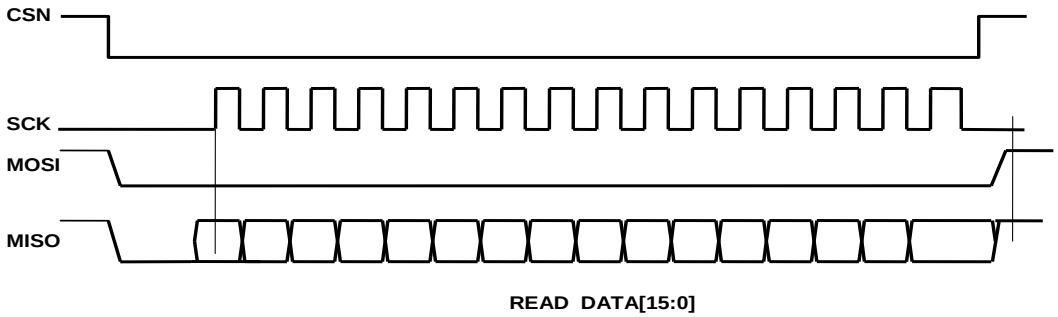


Рис. 17 – Второй цикл обмена через SPI, чтение

После осуществления процедуры стирания/записи в EEPROM блок SPI_SLAVE выдает импульс на линию RES_CRC и адрес записываемого слова для сброса флагов ошибки контрольной суммы соответствующего слова EEPROM.

Табл. 17 – Временные параметры блока интерфейса SPI

Параметр, единица измерения	Обозначение	Значение
Максимальное время активации интерфейса, нс	$t_{DO\ active}$	100
Время загрузки данных с шины в регистр интерфейса, нс	t_{CLK_FE}	750
Время готовности первого бита данных, нс	$t_{CLK/2}$	500
Время готовности выходных данных, нс	$t_{DO\ valid}$	500
Минимальная длительность сигнала CSN, нс	t_{CSN}	500
Максимальная частота сигнала SCK, МГц	f_{SCK}	4

12. Схемы применения

12.1. Датчик тока со встроенной сенсорной системой

Рекомендуемая схема включения микросхемы при измерении тока, протекающего под корпусом, приведена на Рис. 18. На этой схеме задействованы выходы: аналоговый AOUT (вывод 20) и компаратора CMP (вывод 8).

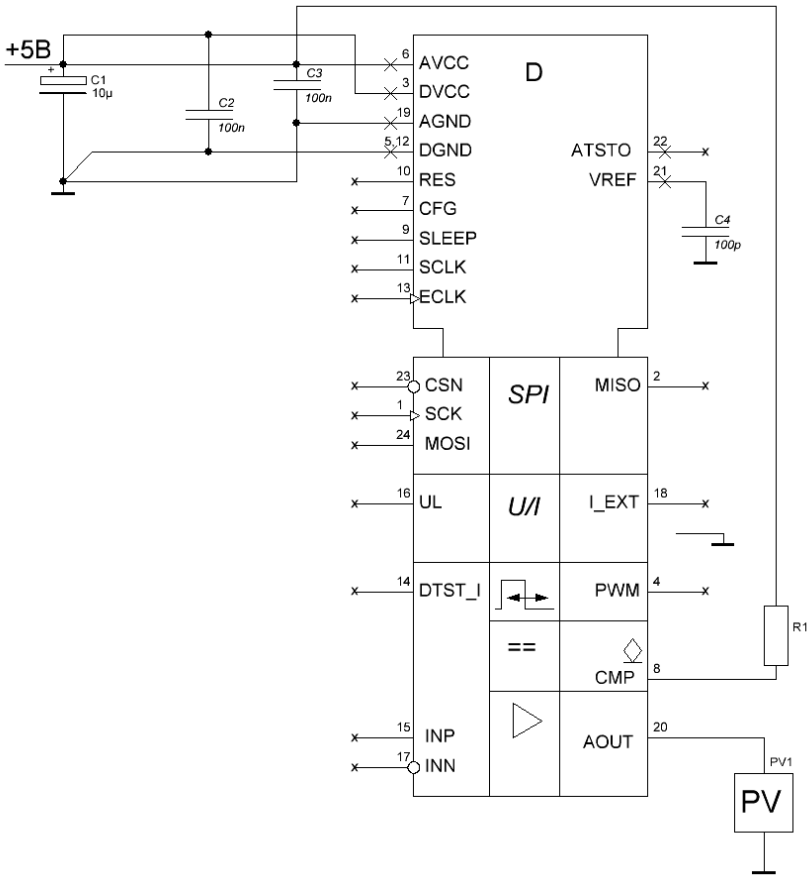
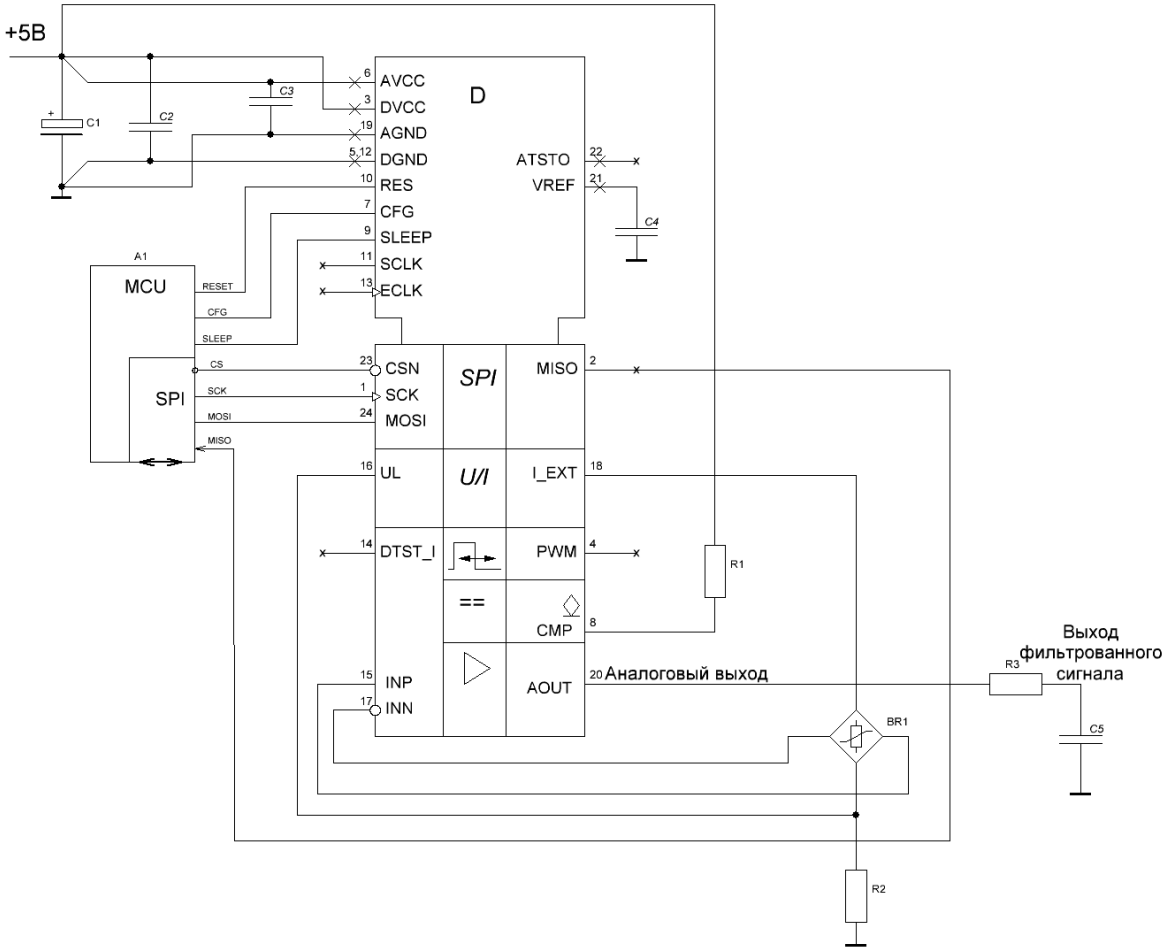


Рис. 18 – Схема включения микросхемы для создания датчика тока с использованием встроенных датчиков Холла.

12.2. Датчик тока с внешним магниторезистивным сенсором

Для формирования магнитного смещения внешнего сенсора может быть использован встроенный в микросхему источник тока. Значение тока задаётся кодом регистра TCURR после предварительной калибровки сенсора. В этом случае положительный вывод питания магниторезистивного моста ($+V_B$) подключается к выходу I_EXT микросхемы, отрицательный вывод питания моста ($-V_B$) подключается к общему проводнику (GND).



A1 – микроконтроллер с интерфейсом SPI (программатор ЗНТЦ М-01)
BR1 – магниторезистивный датчик мостового типа ZMY20M (сопротивление диагонали питания моста 1,5 кОм);
D – микросхема К1382НУ01А5
C1 – конденсатор от 4,7 до 10 мкФ.
C2, C3 – конденсатор 68 …120 нФ.
C4 – конденсатор 100 … 330 пФ.
R1 – резистор не менее 127 Ом
R2 – резистор 0…150 Ом (не более 10 % от сопротивления диагонали питания моста BR1)
R3, C5 – пассивный ФНЧ, параметры подбираются по необходимой частоте среза

Рис. 19 – Схема включения микросхемы для создания датчика тока с использованием внешнего мостового сенсора

Вместо внутреннего источника опорного напряжения АЦП1 может использоваться падение напряжения на резисторе R2 в цепи питания сенсора (Рис. 19), подаваемое на вход UL (вывод 16).

В этом случае отрицательный вывод питания моста подключается к общему проводнику через резистор R2, составляющий не более 10 % от сопротивления цепи питания внешнего сенсора (см. Рис. 14). Для переключения внутреннего источника опорного напряжения на внешний, необходимо установить SEL_MR_VREF=1.

12.3. Схема подключения микроконтроллера к нескольким микросхемам по общей шине SPI

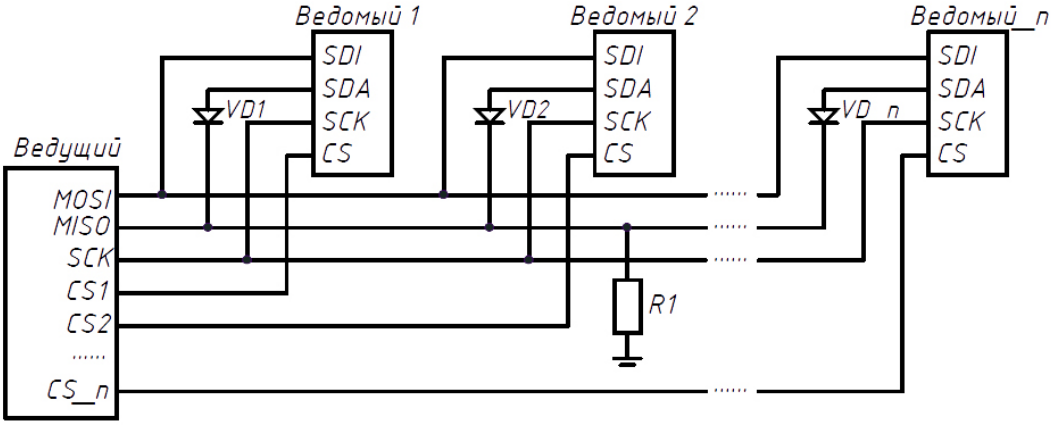


Рис. 20- Схема включения при использовании нескольких ИМС на одной шине

На выходе SDA реализована внутренняя (заданная топологией микросхемы) притяжка к «0». Чтобы поднять потенциал шины MISO, пересиливая притяжки выходов SDA всех микросхем, подключённых к шине MISO, активному SLAVE необходимо обладать высокой нагрузочной способностью. И чем больше микросхем подключено к шине SLAVE, тем выше должна быть нагрузочная способность микросхемы по выходу SDA. Для этого необходима дополнительная схемотехника, и как следствие - энергопотребление микросхемы. Поскольку в большинстве случаев к контроллеру подключается только один SLAVE, то при объединении нескольких ИМС на одной шине SPI необходимо последовательно с каждой ИМС включить диод (Шотки) как показано на Рис. 20. Резистор R1 необходим для притяжки к шины MISO к «0». Его сопротивление должно быть не менее 5 - 10кОм. Резистор ставится на входе MISO контроллера (один, не зависимо от количества микросхем, подключённых к шине MISO).

13. Порядок настройки микросхемы

Микросхема предназначена для использования внешних датчиков различного типа, для этого в аналоговом тракте микросхемы предусмотрены необходимые настройки как по напряжению питания датчиков, так и по усилению входного сигнала (крутизне преобразования), а также по балансировке мостовых сенсоров. Поскольку датчики одного типа обычно имеют некоторый технологический разброс, то каждый датчик тока необходимо настраивать (программировать через SPI-интерфейс) индивидуально после его установки на токовый проводник (шину).

В начале настройки необходимо установить регистры в исходное состояние, в соответствии с Табл. 4.

Настройка напряжения опорного генератора U_{O_BG}

- Чтобы подать сигнал опорного генератора на тестовый выход ATSTO. Установить ATSTO_SET[2:0]=001, ATSTO_DIS=0
- Кодом регистра BG задать уровень постоянного напряжения в диапазоне 1,213…1,234 В на выходе ATSTO (вывод 22).
- Отключить сигнал опорного генератора ATSTO_SET[2:0]=110.

Настройка тактовой частоты.

Несущая частота ШИМ формируется делением частоты сигнала тактового сигнала 8 МГц

- Включить ШИМ интерфейс PWM_DIS=0,
- Установить PWM _SET=0 для выполнения условия f_{PWM}= CLK / 16384 = 488 Гц

– Регистром CF[4:0] установить значение, соответствующее частоте 488 Гц на выходе PWM (вывод 4).

13.1. Настройка преобразования сигналов встроенной сенсорной системы

13.1.1.Настройка напряжения смещения нуля (U_{IO})

– Подключить встроенную сенсорную систему: FR_DIS=0;

– Включить все датчики встроенного сенсора:

- HALL_SET_1=1
- HALL_SET_2=1
- HALL_SET_3=1
- HALL_SET_4=1

– Установить:

- значение кода тока магнитного смещения элементов Холла регистром ACODE[7:0]=150
- корректировку тока магнитного смещения LC=0,
- усиление выходного усилителя CGAIN[5:0]=63,
- включить дополнительный усилитель (HG=1),

– Подключить вольтметр между выходом AOUT (вывод 20) и выходом источника опорного напряжения VREF (вывод 21).

– Подобрать значение регистра MOA[4:0], при котором напряжение на выходе дифференциального усилителя будет равно нулю (Напряжение U_{AOUT} = U_{REF}). Код MDATA=2048.

13.1.2.Настройка тока магнитного смещения (ACODE)

– Подобрать максимальное значение кода тока магнитного смещения элементов Холла ACODE[7:0], при котором значение кода MDATA=2048 (U_{AOUT} = U_{REF}). Подстройку кода MDATA осуществлять знаковым регистром MOA[4:0].

13.1.3.Настройка крутизны преобразования

– подать ток 1А на измерительный проводник,

– увеличивая значение измеряемого тока, достичь кода максимального значения токовой шкалы датчика, при котором MDATA ≤ 4096 ($U_{AOUT} \leq 2$ В). Среднестатистическое значение тока полной шкалы в проводнике на печатной плате: 10 А (при ширине проводника 2 мм и толщине 0,105 мм, токи свыше 5 А подавать кратковременно). Зависимость выходного напряжения от тока показана на Рис. 6.

– Крутизну преобразования можно уменьшить уменьшением кода регистра усиления CGAIN[5:0], или отключением дополнительного усилителя (HG=0).

13.2. Настройка преобразования сигналов внешней сенсорной системы

13.2.1.Настройка напряжения смещения нуля (U_{IO})

– Отключить встроенную сенсорную систему: FR_DIS=1;

– Включить дополнительный усилитель: HG=1;

– Установить:

- максимальное значение кода усиления первичного усилителя (PGA1) GA[4:0]=31,
- среднее значение кода напряжения тока магнитного смещения нуля первичного дифференциального усилителя (PGA1) OA[5:0]=0,
- максимальное значение кода усиления выходного усилителя (PGA2) CGAIN[5:0]=63,
- среднее значение кода напряжения тока смещения нуля дифференциального усилителя (PGA2) MOA[4:0]=0.

13.2.2.Настройка тока магнитного смещения (TCURR)

Блок формирования тока магнитного смещения внешнего сенсора обеспечивает температурно-стабилизированный ток в диапазоне 0,7-1,8 мА (при Ucc=5,0 В). Следует учитывать, что:

При R2=0 и SEL_MR_VREF=0, максимальная величина тока ограничена напряжением питания микросхемы, падением напряжения на регулирующем элементе источника тока (1,0…1,15 В) и падением напряжения на сенсоре при максимальной рабочей температуре.

При настройке тока магнитного смещения сенсора TCURR необходимо учитывать следующее ограничение:

$$U\ sens \leq U_{CC} - 1{,}15\ B$$

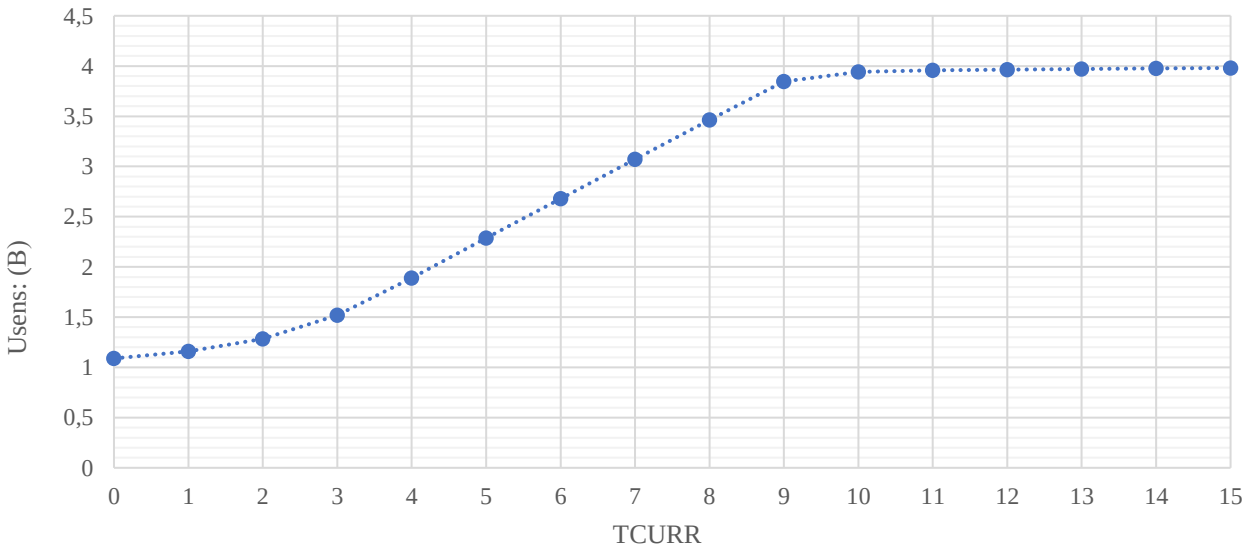


Рис. 21 - Зависимость падения напряжения на диагонали питания сенсора ZMY20M от тока магнитного смещения сенсора (TCURR) при температуре 120 °C

Таким образом, для диапазона рабочих температур -60…+125°C рекомендуемый ток смещения (TCURR), для сенсора ZMY20M может быть выбран на линейном участке зависимости, в диапазоне TCURR=(3…9).

Подстройку кода MDATA осуществлять знаковыми регистрами OA[5:0] и MOA[4:0].

При R2=(Rsens/10) и SEL_MR_VREF=1, максимальная величина тока будет ограничиваться напряжением питания микросхемы, падением напряжения на регулирующем элементе источника тока (1,0…1,15 В), падением напряжения на сенсоре (при максимальной рабочей температуре) и падением напряжения на R2. В этом случае TCURR будет задавать не только чувствительность сенсора, но и опорное напряжения АЦП1 через вход UL (вывод 16). Зависимость опорного напряжения от TCURR для сенсора ZMY20M при температуре 120°C показана на Рис. 22.

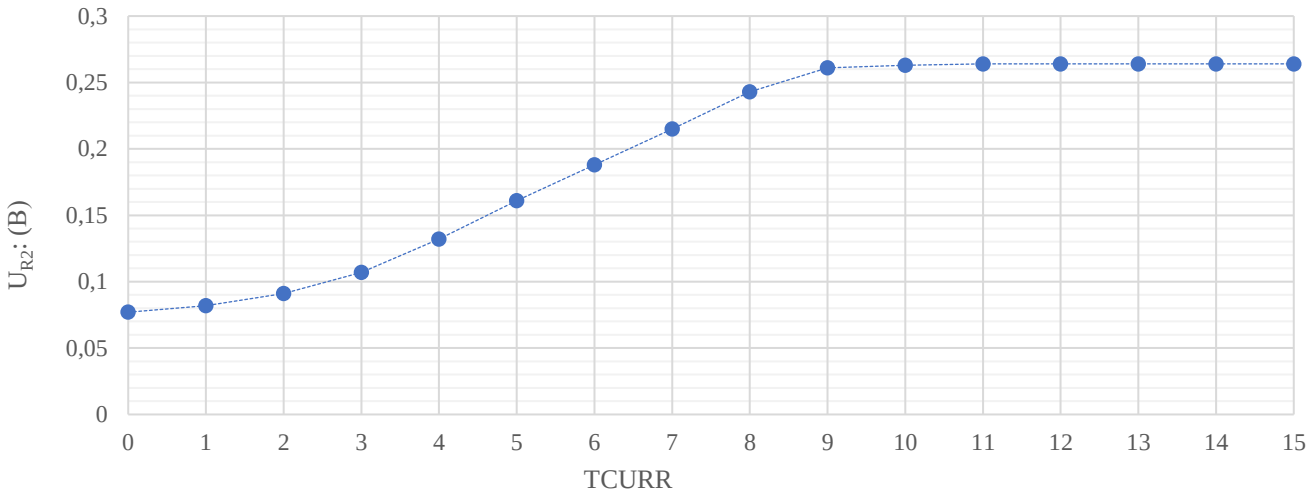


Рис. 22 – Зависимость опорного напряжения (U_{R2}) от TCURR для сенсора ZMY20M при температуре 120 °C.

Зависимость показывает, что рекомендуемый ток смещения (TCURR), для сенсора ZMY20M может быть выбран на линейном участке зависимости в диапазоне TCURR=(3…8).

13.2.3.Настройка крутизны преобразования

- подать ток 1А на измерительный проводник,
- увеличивая значение измеряемого тока, достичь кода максимального значения токовой шкалы датчика, при котором MDATA ≤ 4096 ($U_{AOUT} \leq 2$ В). При использовании сенсора ZMY20V значение тока полной шкалы в проводнике на печатной плате (шириной 3 мм и толщиной 0,105 мм) составляет 1,5...1,8 А. Зависимость показана на Рис. 9.
- При измерении больших токов крутизну преобразования можно уменьшить кодом регистра усиления CGAIN[5:0] или отключением дополнительного усилителя (HG=0). Токи свыше 5 А подавать кратковременно.

13.3. Температурная коррекция выходного сигнала

Настройка температурной коррекции выходного сигнала производится в рабочем режиме микросхемы (CFG=0) в три этапа:

1) Снятие характеристики зависимости выходного напряжения U_{AOUT} от TDATA в диапазоне рабочих температур при TCORR_EN=0.

2) Выполнение расчёта A1REG, A2REG по полиному температурной коррекции (см. раздел 10.8) с использованием полученных значений Uout. для каждого значения TDATA.

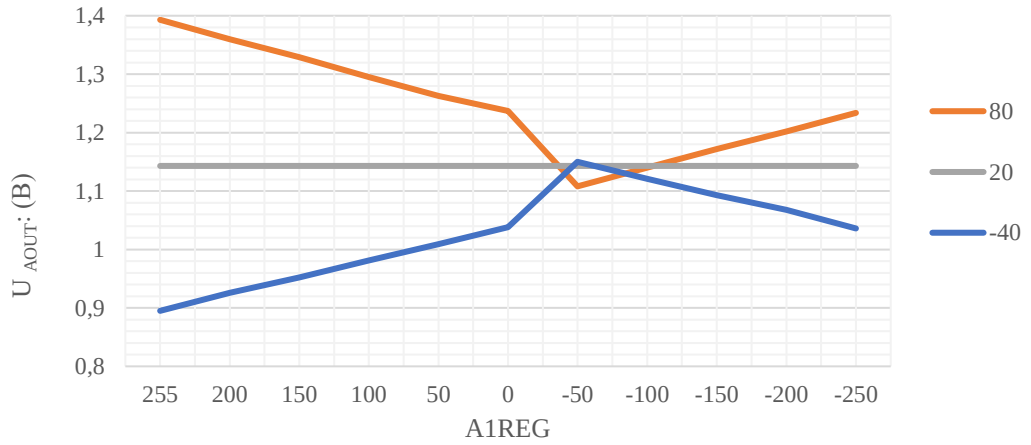
Значение A1REG может быть получено также на основании анализа значений выходного напряжения U_{AOUT} для конкретного значения измеряемого тока, при контрольных значениях A1REG в экстремальных температурах диапазона рабочих температур, при TCORR_EN=1.

Пример определения A1REG для тока 1 А, измеренного внешним сенсором ZMY20M, в проводнике печатной платы для рабочего диапазона температур – 40…+80 °С, при R2=0.

– Фиксируем в таблице значения напряжения U_{AOUT}, измеренные при T= - 40, +20, +80°С:

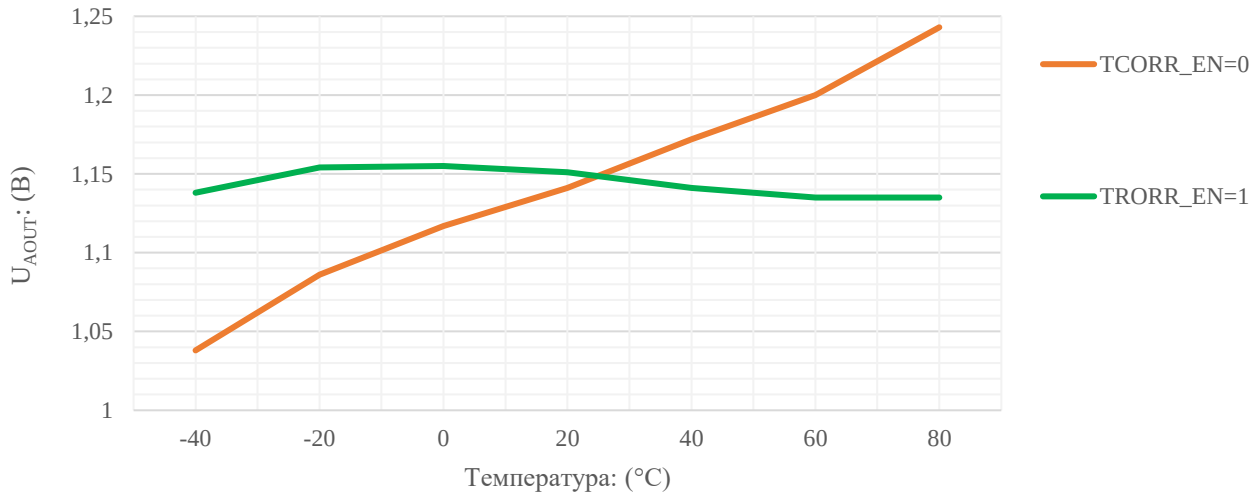
Температура		A1REG										
°С	TCODE	255	200	150	100	50	0	-50	-100	-150	-200	-250
-40	(36)	0,895	0,926	0,952	0,981	1,009	1,038	1,15	1,121	1,093	1,068	1,036
20	(71)	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143
80	(104)	1,393	1,36	1,329	1,295	1,263	1,237	1,108	1,14	1,172	1,202	1,234

– Строим три графика по значениям U_{AOUT} в одной системе координат



– Определяем оптимальное значение A1REG в зоне пересечения графиков (A1REG = – 40).

3) Ввод значений регистров температурной компенсации, полученных в результате расчёта:
   - A1REG= – 40,
   - A2REG=0,
   - TOREG = 71 (соответствует +20°С),
   - I0REG = 2048 (код нулевого тока),
   - TCORR_EN=1.



Температурная характеристика скорректированного напряжения на аналоговом выходе (относительно $U_{REF} = U_{CC}/2$) при измерении тока 1 А.

В большинстве случаев температурная коррекция позволяет компенсировать наклон характеристики преобразования только для конкретного значения тока.

14. Примечания по использованию магниточувствительных элементов

Следует учитывать, что заявленные в документации параметры (точность преобразования) относятся к тракту преобразования микросхемы, поскольку она в первую очередь предназначена для работы в составе бесконтактного датчика тока с внешними магниторезистивными чувствительными элементами. Точность и стабильность работы датчика тока определяется свойствами и долговечностью магниточувствительных элементов. Магнитное смещения сенсора влияет на его чувствительность и баланс плеч мостового датчика, поэтому в микросхеме предусмотрена подстройка нуля дифференциального усилителя. Микросхема может быть адаптирована для измерения широкого диапазона токов за счёт изменения расстояния до проводника с током и регулировки усиления аналогового сигнала (во избежание перегрузки АЦП).

Каждую микросхему необходимо калибровать под используемый чувствительный элемент и напряжённость магнитного поля, измеряемого тока, после совмещения магниточувствительной системы с проводником.

Датчики Холла проигрывают магниторезистивным в чувствительности и в температурной стабильности (Рис. 6, Рис. 9), но вполне могут быть использованы для знакомства с микросхемой и измерения магнитных полей больших токов. При размещении токовой дорожки шириной 5,5 мм (толщиной 105 мкм) на обратной стороне платы толщиной 1,5 мм полная шкала тока составляет 60 А (30 А для каждой полярности) при включённом усилителе HG, и в два раза больше при выключенном HG.

Для измерения токов более 30А токовая дорожка может быть выполнена медной шиной.