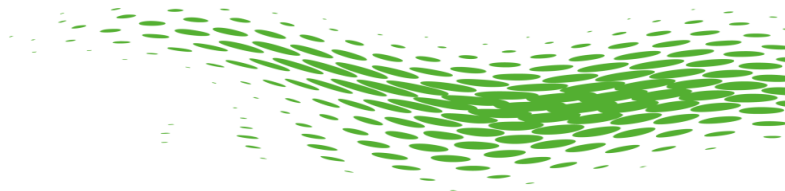




Зеленоградский
нанотехнологический
центр



МИКРОСХЕМА АБСОЛЮТНОГО МАГНИТНОГО ЭНКОДЕРА
K1382HM025 (v. EEPROM)
Инструкция по применению
v.2022-04-27

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

Оглавление

1 НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ	3
2 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МИКРОСХЕМЫ.....	4
3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	5
3.1 Основные параметры микросхемы.....	5
3.2 Устойчивость к воздействию внешних факторов.....	6
4 СОСТАВ МИКРОСХЕМЫ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА.....	6
5 ВСТРОЕННАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА.....	9
5.1 Принцип действия датчика углового положения	9
5.2 Встроенная сенсорная система на элементах Холла.....	12
5.3 Тактовый генератор	13
5.4 Калибровочный канал	13
5.5 Блок компенсации остаточного намагничивания датчиков.....	13
5.6 Блок регулировки тока смещения датчиков Холла	14
5.7 Первичные усилители	14
5.8 Блок программируемых дифференциальных усилителей.....	15
6 БЛОК ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ	16
6.1 Загрузка и программирование настроек микросхемы	16
6.2 Блок аналого-цифрового преобразования угловой информации	20
6.3 Блок аналогового-цифрового преобразования значения температуры.	20
6.4 Счетчик числа оборотов.....	21
6.5 Формирование сигнала прерывания	21
6.6 Компаратор угла поворота	21
6.7 Гистерезис кода на обратное вращение.....	22
6.8 Тестовый выход аналоговых сигналов ATSTO.....	23
6.9 Тестовый выход цифровых сигналов DTSTO.....	23
6.10 Статусные сигналы	23
6.11 Режим пониженного энергопотребления.	23
7 БЛОК ИНТЕРФЕЙСОВ.....	23
7.1 Инкрементальный интерфейс.....	23
7.1.1 Сигналы A/B/INDEX	24
7.1.2 Сигналы STEP/DIR	25
7.2 Интерфейс управления трёхфазным бесколлекторным двигателем	25
7.3 Интерфейс широтно-импульсной модуляции (PWM)	27
7.4 Линейный аналоговый выход	29
7.5 Коррекция угловой информации:.....	30
7.5.1 Ограничивающие пороги.....	30
7.5.2 Коррекция кода углового положения по сигналу ZRP	31

7.5.3	Коррекция кода нулевого положения смещением кода.....	31
7.6	ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ ИНТЕРФЕЙС SPI/SSI.....	33
7.6.1	Работа по протоколу SPI.....	34
7.6.1.1	Режим настройки по протоколу SPI	34
7.6.1.2	Режим передачи серийных выходных данных по протоколу SPI	36
7.6.2	Работа по протоколу SSI.....	39
7.6.2.1	Передача данных в формате кода Грея	41
7.7	ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИКРОСХЕМЫ.....	41
8	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ	42
8.1	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ.....	42
8.2	ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ	43
8.2.1	Схема подключения микросхемы к микроконтроллеру.....	43
8.2.2	Схема подключения микросхемы с управлением от внешнего микроконтроллера.....	44
8.2.3	Схема подключения микроконтроллера к нескольким микросхемам по общей шине SPI.....	45
8.2.4	Схема подключения через интерфейс SPI/SSI по протоколу SSI.....	46
8.2.5	Схема подключения микросхемы через аналоговый выход.....	47
8.2.6	Схема подключения микросхемы через аналоговый синусно-косинусный дифференциальный выход.	48
8.2.7	Схема подключения внешнего синусно-косинусного датчика.....	49
8.3	УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МИКРОСХЕМЫ.....	50
8.4	НАСТРОЙКА МИКРОСХЕМЫ	50
8.4.1	Настройка аналогового тракта микросхемы.....	50
8.4.1.1	Настройка тактовой частоты FREQ[4:0]	50
8.4.1.2	Настройка уровня токов усилителей и датчиков Холла	50
8.4.1.3	Установка магнитной системы	51
8.4.1.4	Настройка смещения нуля дифф. усилителя синусного канала	51
8.4.1.5	Настройка усиления синусного канала	52
8.4.1.6	Настройка смещения нуля дифф. усилителя косинусного канала	52
8.4.1.7	Настройка усиления косинусного канала	53
8.4.2	Настройка цифровой части микросхемы.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А УСЛОВНОЕ-ГРАФИЧЕСКОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ МИКРОСХЕМЫ		54
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ МИКРОСХЕМЫ.....		55
ПРИЛОЖЕНИЕ В РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ МИКРОСХЕМЫ		58
ПРИЛОЖЕНИЕ Г КАРТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АДРЕСНОГО ПРОСТРАНСТВА МИКРОСХЕМЫ.....		59

1 Назначение и области применения изделия

Микросхема K1382HM025 (далее – микросхема) предназначена для вычисления кода углового положения по анализу направления магнитного поля диаметрально намагниченного торцевого магнита относительно встроенной сенсорной системы. Вычисленный код положения выдается в виде набора стандартных интерфейсов: инкрементальный, шаг+направление, SPI, SSI, ШИМ, трехфазный UVW, линейный аналоговый.

Микросхемы могут применяться:

- в датчиках углового положения валов двигателей и механизмов;
- в качестве бесконтактного аналога потенциометрических датчиков и органов управления.
- Микросхема является функциональным аналогом изделий иностранного производства: iC-MH (iC-Haus), AS5040, AS5045 (AMS), KMA200 (NXP).

2 Функциональные возможности микросхемы

- 4.1. Микросхема обеспечивает преобразование сигналов со встроенных магниточувствительных элементов в код углового положения
- 4.2. Возможно подключение сигнала с внешнего синусно-косинусного энкодера, вместо интегрированной в кристалл сенсорной системы.
- 4.3. Микросхема обеспечивает коррекцию кода углового положения в соответствии с настройками пользователя:
 - настройку нулевого углового положения;
 - изменения условного направления вращения;
 - гистерезис на обратное вращение;
 - ограничения значений для верхнего и нижнего кодов углового положения.
- 4.4. В микросхему интегрирован встроенный датчик температуры и циклический счетчик числа оборотов с программируемым модулем (1024) и направлением счета. Код температуры и код счётчика числа оборотов могут быть считаны через интерфейс SPI/SSI по протоколу SPI.
- 4.5. Микросхема выдаёт выходной сигнал в следующих форматах
 - линейный аналоговый выход (рационаметрический);
 - цифровой последовательный интерфейс SSI;
 - инкрементальный квадратурный интерфейс;
 - трехфазный UVW;
 - ШИМ-сигнал.
- 4.6. При изменении угловой информации микросхема выдаёт логический сигнал прерывания для внешнего контроллера.
- 4.7. Микросхема выдаёт логический сигнал о превышении значения углового кода заданного значения.
- 4.8. Настройка микросхемы производится через последовательный интерфейс (SPI).
- 4.9. Микросхема выдаёт сообщения о наличии ошибок через интерфейс SPI/SSI:
 - диапазон напряжения на входе следящего преобразователя находится за пределами регулировки уровня тока смещения датчиков Холла (слишком слабый или слишком сильный сигнал);
 - следящий преобразователь вышел из режима слежения.
- 4.10. Микросхема имеет логический выход индикации ошибок:
 - амплитуда входного сигнала на любом из АЦП превышает опорное напряжение;
 - амплитуда входного сигнала меньше порогового значения, установленного в специальном регистре блока хранения настроек и коэффициентов.
- 4.11. Микросхема позволяет снижать энергопотребление согласно настройкам пользователя и по сигналу со специального входа микросхемы

3 Технические характеристики

3.1 Основные параметры микросхемы

Табл. 1- Основные параметры микросхемы

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Примечание
		не менее	не более	
Напряжение питания, В	U_{CC}	4,5	5,5	
Ток потребления, мА	I_{CC}	—	35	Без нагрузки
Ток потребления микросхемы в спящем режиме, мА	I_{CCS}	—	5	Без нагрузки
Опорное синфазное напряжение аналоговых каналов, В	U_{CM}	1,45	1,86	
Диапазон измеряемых углов, градусов	A_R	0	360	
Разрядность преобразования	RES_A	12		
Разрешение преобразования, градусов		0,088		
Погрешность преобразования, градусов	Err	—	$\pm 0,35$	
Время преобразования, нс	T_{conv}	—	300	
Максимальная частота интерфейса SPI/SSI, МГц	F_{SPI}	2	—	По линии МА(SCK)
Максимальная угловая скорость об/мин	ω_{max}			Зависит от длины посылки
— для линейного аналогового интерфейса,		—	14 500	
— для SPI/SSI по протоколу SPI		1 255	2 775	
— для SPI/SSI по протоколу SSI		695	2775	
— для остальных интерфейсов		—	48 000	
Разрешение встроенного температурного сенсора, °C	RES_T	—	2	
Разрядность программируемого счётчика числа оборотов, бит	—	10		
Максимальное значение диапазона напряжений ЦАП аналогового выхода, В	U_{AH}	2	—	Сопrotивление нагрузки 5 кОм
Минимальное значения диапазона напряжений ЦАП аналогового выхода, В	U_{AL}	—	0,1	Сопrotивление нагрузки 5 кОм
Входное напряжение логических сигналов				
- низкого уровня, В	U_{IL}	—	0,8	
- высокого уровня, В	U_{IH}	2,0	—	
Выходное напряжение логических сигналов				
- низкого уровня, В	U_{OL}	—	0,4	Ток нагрузки 4 мА
- высокого уровня, В	U_{OH}	2,4	—	
Ток нагрузки аналогового выхода ЦАП, мА	I_{a_max}	—	5	

Микросхема устойчива к воздействию статического электричества с потенциалом не менее 2 000 В.

3.2 Устойчивость к воздействию внешних факторов

Микросхемы устойчивы к воздействию механических, климатических, биологических факторов и специальных сред со значениями характеристик по ОСТ В 11 0998-99.

Диапазон рабочих температур: $-60...+125^{\circ}\text{C}$

4 Состав микросхемы и структурная схема

- встроенная сенсорная система на элементах Холла;
- блок программируемых дифференциальных усилителей;
- канал датчика температуры;
- блок цифровой обработки данных и формирования выходных сигналов;
 - блок хранения настроек и коэффициентов;
 - блок интерфейсов.

Структурная схема микросхемы приведена на [Рис. 1](#), описание назначения выводов в [Табл. 2](#).

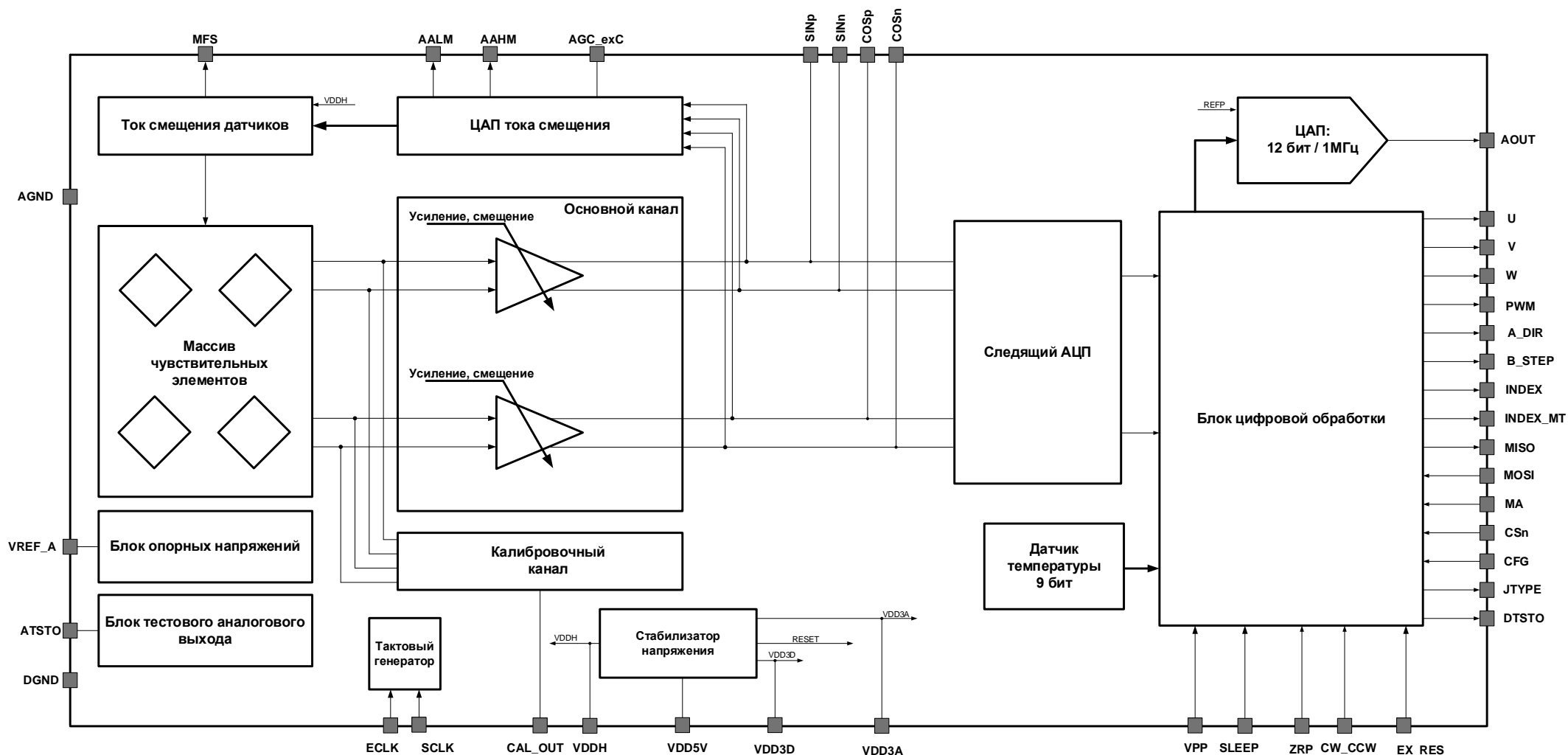


Рис. 1 – Структурная схема микросхемы

Табл. 2 – Описание назначения выводов

№ выв.	Обозначение	Тип	Наименование
1	SLEEP	DI-PD-ST ¹⁾	Включение режима энергосбережения
2	VREF_A	AIO ²⁾	Вход/выход опорного напряжения, соответствующего нулевому уровню аналоговых сигналов SINp, SINn, COSp, COSn.
3	SINp	AO ³⁾	Дифференциальный выход SINp
4	SINn	AO	Дифференциальный выход SINn
5	COSn	AO	Дифференциальный выход COSp
6	COSp	AO	Дифференциальный выход COSn
7	AGND	Общий	Аналоговая земля
8	MFS	AO	Увых АЦП формирования тока питания элементов Холла
9	AGC_exC	AIO	Вход подключения внешнего конденсатора
10	AAHM	DO ⁴⁾	Сигнал индикации избыточной напряженности магнитного поля
11	AALM	DO	Сигнал индикации недостаточной напряженности магнитного поля
12	CAL_OUT	AO	Сигнал калибровки смещения магнита
13	AOUT	AO	Выход аналогового ЦАП
14	ATSTO	AO	Тестовый аналоговый выход
15	EX_RES	DI-PU-ST ⁵⁾	Внешний сброс (не является эквивалентом внутреннего POR)
16	CW_CCW	DI-PD-ST	Выбор направления вращения
17	ZRP	DI-PD-ST	Вход установки нулевого положения
18	JTYPE	DO	Выход, индицирующий достижение заданного кода угла
19	PWM	DO	Выход тактовой частоты /Выход ШИМ
20	DTSTO	DO	Выход сигнала прерывания для внешнего контроллера
21	W	DO	Выход Wтрехфазного интерфейса
22	V	DO	Выход Vтрехфазного интерфейса
23	U	DO	Выход Uтрехфазного интерфейса
24	CFG	DI-PD-ST	Логический вход выбора протокола работы интерфейса SPI/SSI (1/0).
25	CSn	DI -PU-ST	Вход активации интерфейса SPI/SSI
26	MA(SCK)	DI -PU-ST	Тактовая частота интерфейса SPI/ SSI
27	MOSI	DI -PU-ST	Вход интерфейса SPI/SSI
28	VPP	AI-HV ⁶⁾	Технологический вывод, должен быть соединён с землёй.
29	MISO	DO	Выход интерфейса SPI/SSI
30	DGND	Общий	Цифровая земля
31	INDEX	DO	Выход опорного импульса на оборот
32	B_STEP	DO	Инкрементальный квадратурный выход B / Выход «Шаг»
33	A_DIR	DO	Инкрементальный квадратурный выход A/ Выход «Направление вращения»
34	INDEX_MT	DO	Выход опорного импульса в многооборотном режиме
35	ECLK	DI-PD-ST	Вход внешней тактовой частоты
36	SCLK	DI-PD-ST	Вход переключения источника тактовой частоты внутренний/внешний
37	VDDH	AO	Выход напряжения питания элементов Холла
38	VDD3D	S ⁷⁾	Цифровое питание
39	VDD3A	S	Аналоговое питание
40	VDD5V	S	Питание

¹⁾ DI-PD-ST – цифровой вход с подтяжкой к логическому «0» и триггером Шмидта.

²⁾ AIO – аналоговый вход/выход.

³⁾ AO – аналоговый выход.

⁴⁾ DO – цифровой выход.

⁵⁾ DI-PU-ST – цифровой вход с подтяжкой к логической «1» и триггером Шмидта.

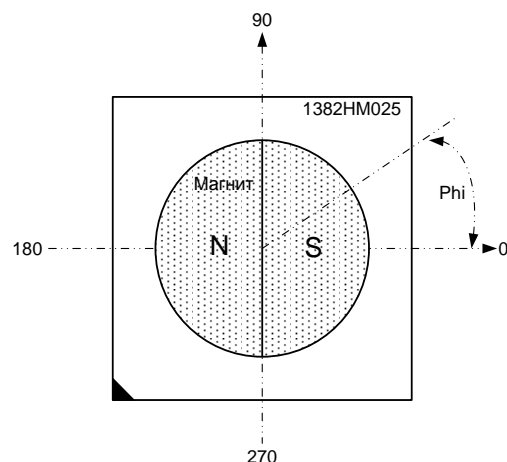
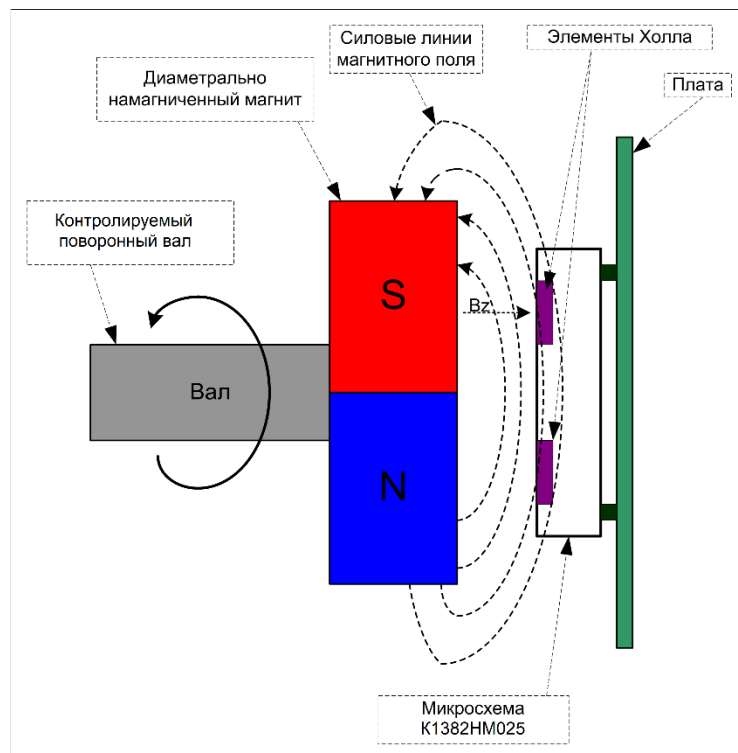
⁶⁾ AI-HV – выход с подтяжкой к логической «1».

⁷⁾ S – питание.

5 Встроенная сенсорная система

5.1 Принцип действия датчика углового положения

Конструкция магнитного датчика углового положения (Энкодера) торцевого типа показана на Рис. 2. В основе работы такого датчика лежит синусно-косинусное детектирование распределения индукции магнитного поля диаметрально намагниченного возбуждающего магнита, размещённого на торце вала измеряемого объекта.



Положение магнита относительно корпуса микросхемы
(вид со стороны магнита)

Рис. 2 – Конструкция торцевого датчика углового положения

Микросхема производит вычисление кода положения по анализу магнитного поля **диаметрально намагниченного** торцевого магнита (Рис. 3) относительно встроенной сенсорной системы.

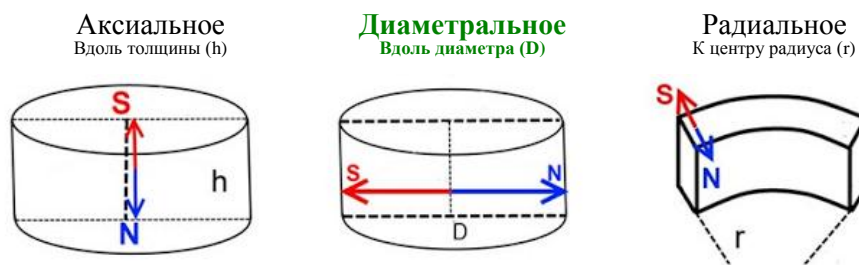


Рис. 3 – Варианты намагниченности магнитов

Диапазон амплитудных значений ортогональной к плоскости микросхемы компоненты индукции магнитного поля, имеющей синусоидальное распределение по окружности на поверхности микросхемы, в пределах которых погрешность преобразования не превосходит значений заданных ТУ, приведены в Табл. 3.

Табл. 3

Наименование параметра, единица измерения.	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра	
		не менее	не более
Диапазон индукции магнитного поля, мТ	δB	20	80
Постоянное магнитное смещение, мТ	B_{off}	-15	15

Зависимость индукции магнитного поля от расстояния между магнитом и поверхностью кристалла микросхемы для магнитов разных размеров приведена на Рис. 4.

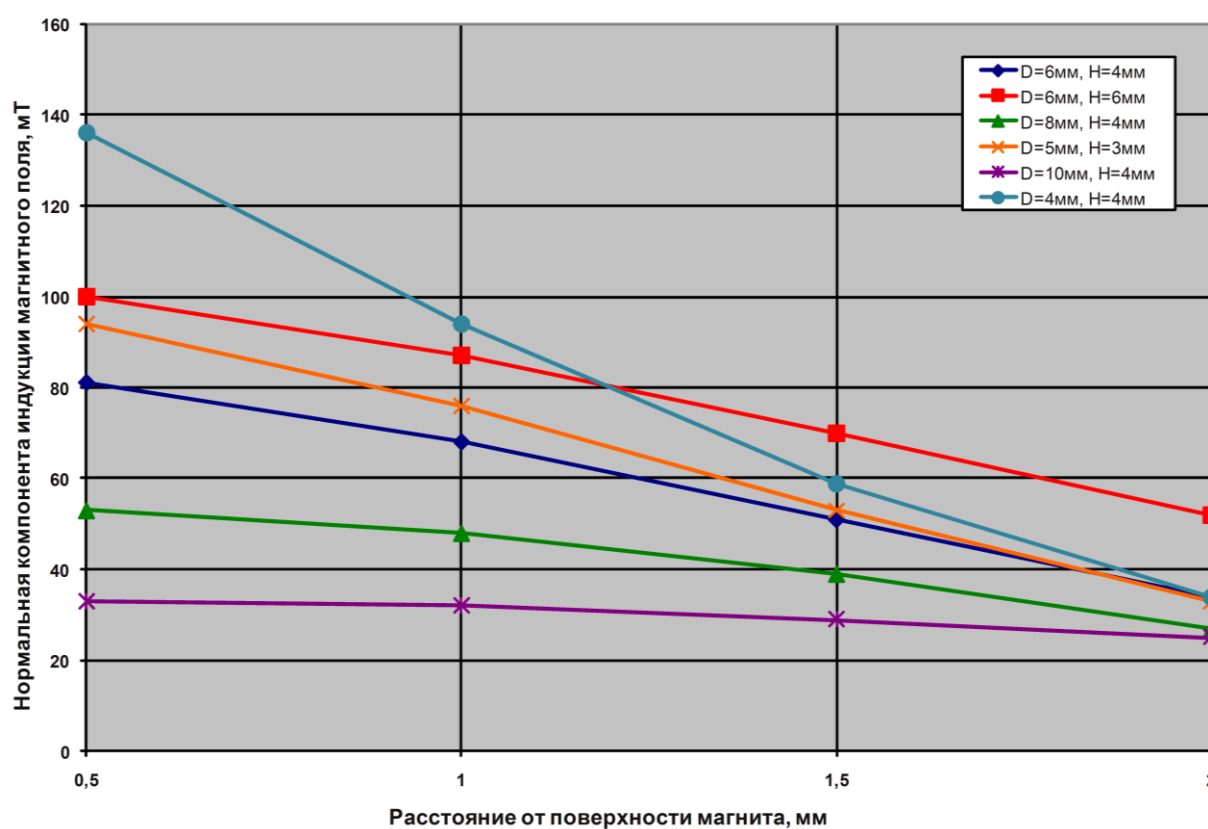


Рис. 4 – Зависимость индукции магнитного поля от расстояния между поверхностью магнита и поверхностью кристалла микросхемы для цилиндрических магнитов различных размеров.

Зависимость дополнительной постоянной составляющей индукции магнитного поля от смещения для магнитов разных размеров приведена на Рис. 5.

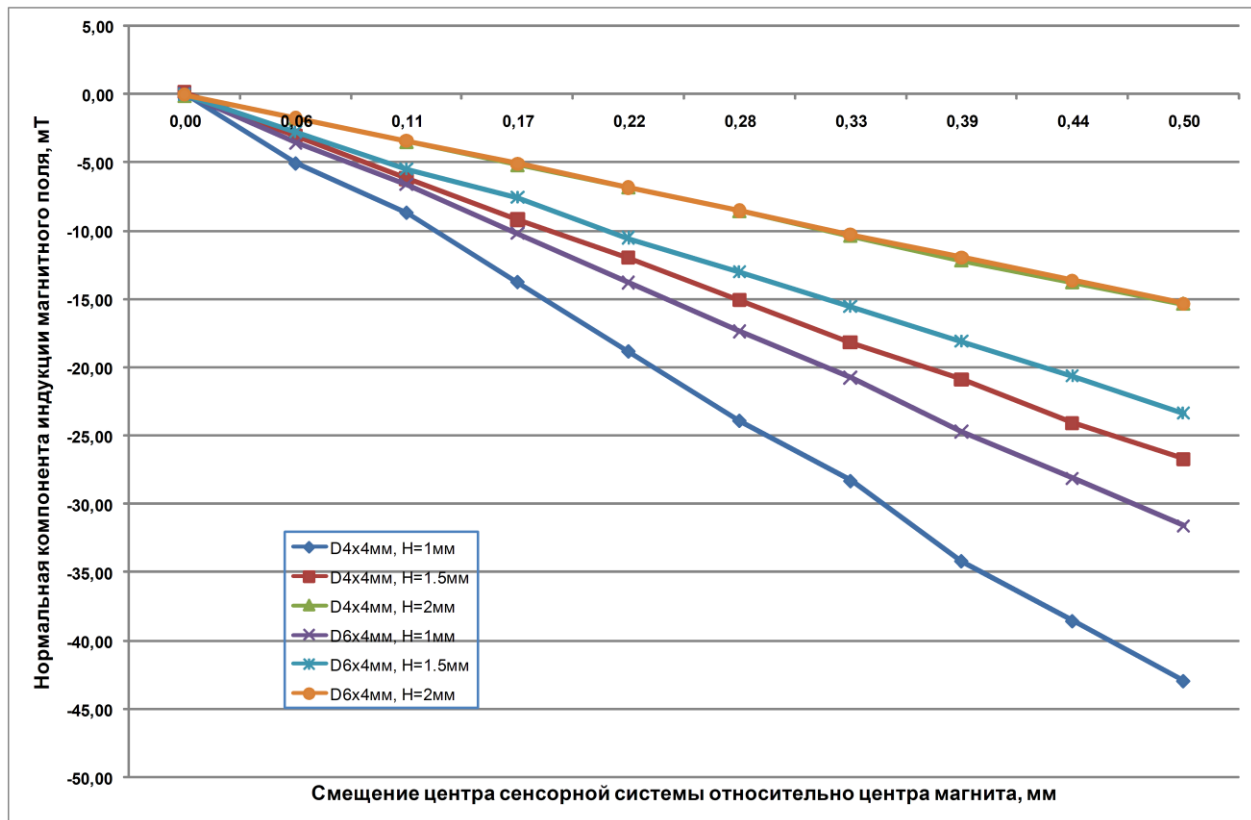


Рис. 5 – Зависимость дополнительной постоянной составляющей индукции магнитного поля от смещения между центрами сенсорной системы и магнита

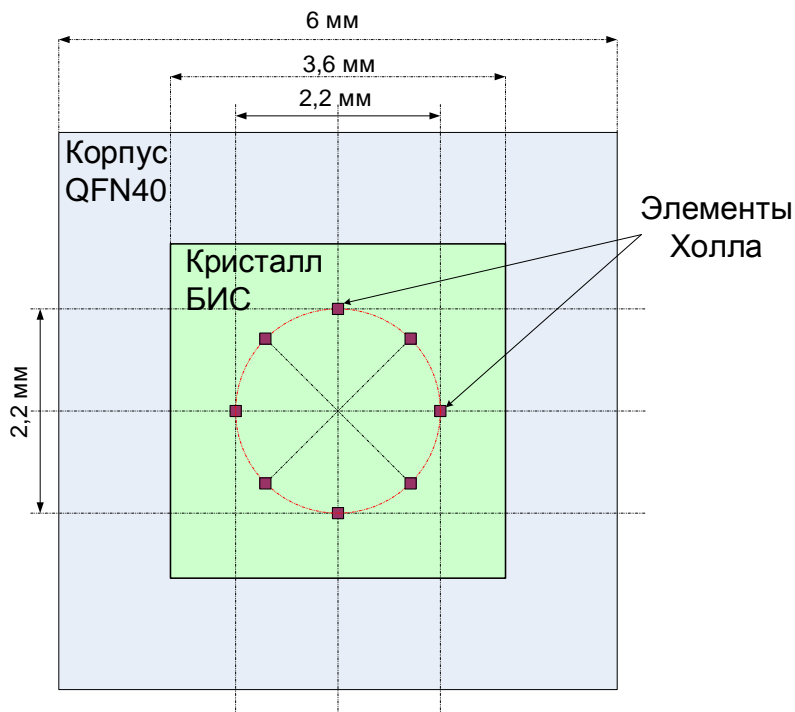
Допускается использовать спеченные цилиндрические магниты с диаметральной намагниченностью из материалов SmCo по ГОСТ 21559 или NdFeB марок не хуже НмБ xxx/160 по ГОСТ Р 52956. Также возможно использование прессованных магнитов из высокотемпературных магнитопластов с наполнением из порошка редкоземельных магнитотвердых материалов, обеспечивающих магнитные свойства при температурах не ниже плюс 120 °С. Рекомендуемые параметры магнитов:

- диаметр магнита – $D = 6$ мм;
- высота магнита – $H = 3$ мм, не менее;
- материал магнита – NdFeB, SmCo.
- расстояние между корпусом микросхемы и магнитом в пределах 0,5...1,5 мм.

Основными условиями в конструкции магнитных датчиков углового положения являются: совмещение оси вращения магнита с центром сенсорной системы, и достаточность зазора между поверхностью магнита и чувствительными элементами сенсорной системы, для получения амплитуды сигнала в пределах диапазона работы следящего преобразователя углокод. Электрическая компенсация постоянной составляющей магнитного поля допускает конструктивную несоосность в пределах $\pm 0,25$ мм.

5.2 Встроенная сенсорная система на элементах Холла

Для компенсации высших порядков нелинейности магнитного поля сенсорная система состоит из 8-ми чувствительных элементов Холла, расположенных равномерно по окружности радиусом 1,1 мм, [Рис. 6](#). Такая система даёт меньшую ошибку преобразования, чем система из 4-х элементов Холла, при этом также обеспечивается устранение постоянной составляющей магнитного поля. Центр окружности совпадает с центром корпуса микросхемы.



[Рис. 6](#) – Расположение 4-х пар элементов Холла на кристалле

Для обеспечения формирования ортогонального сигнала на выходе сенсорной системы обеспечивается суммирование сигналов со всех чувствительных элементов для каждого из каналов: SIN и COS ([Рис. 7](#)).



[Рис. 7](#) – Диаграмма формирования сигналов синусного и косинусного каналов

Микросхема может использовать сигналы внешней сенсорной системы вместо встроенной (схема подключения показана на [Рис. 40](#)). Внутреннюю систему необходимо отключить, установкой регистра FR_DIS=1.

5.3 Тактовый генератор

Табл. 4 - Параметры тактового генератора

№	Параметр	Значение
1	Время старта, не более, мкс	30
2	Номинальная тактовая частота, МГц	8
3	Разброс значений частоты после подстройки, %	±5
4	Скважность, %	50

Частота тактового генератора подстраивается регистром FREQG[4:0], контролируется на выходе PWM (вывод-19), при CLKO_DIS=0 и CLKO_PWM=0. Зависимость тактовой частоты от температуры показана на Рис. 8.

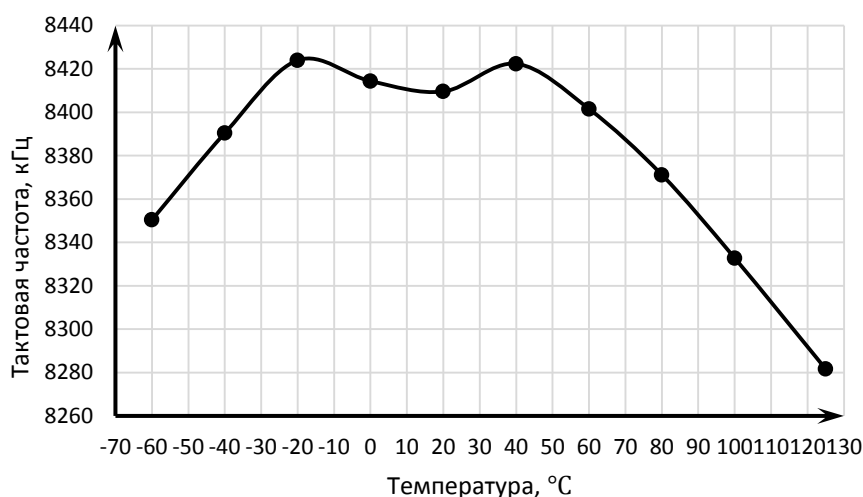


Рис. 8 – Зависимости тактовой частоты от температуры

5.4 Калибровочный канал

Микросхема содержит калибровочный канал, обеспечивающий определение оптимального расположения магнита относительно сенсорной системы. Аналоговые сигналы со всех элементов Холла суммируются, и при идеальном расположении магнита (относительно центра магниточувствительной системы) на выходе калибровочного канала наблюдается нулевой сигнал (относительно VREF_A). Калибровочный канал включается битом CAL_EN=1.

5.5 Блок компенсации остаточного намагничивания датчиков.

Для работы блока компенсации остаточного намагничивания датчиков сенсорной системы на вход генератора фаз поступает тактовая частота. В зависимости от настроек регистра CLKSC_DIV[1:0] (Табл. 5) входная частота делится на 8/16/32/64.

Табл. 5 – Настройка делителя частоты генератора фаз

№	CLKSC_DIV[1:0]	CLKSC
1	00	CLK/8
2	01	CLK/16
3	10	CLK/32
4	11	CLK/64

5.6 Блок регулировки тока смещения датчиков Холла

Блок регулировки тока смещения датчиков предназначен для нормирования амплитуды выходного квадратурного сигнала в заданном диапазоне рабочих температур.

Ток питания через чувствительные элементы Холла формируется кодом ACODE 8-ми разрядного ЦАП, корректируемым регистром AGC_CTRL[2:0] в диапазоне 100-250 мкА, с дискретностью 0,59 мкА, в соответствии с Табл. 6. Минимальное значения тока, задаётся регистром DAC_CTRL[2:0], компенсирующим технологический разброс сопротивления элементов Холла.

Табл. 6 – Настройка уровня тока смещения

AGC_CTRL[2:0]	ACODE[7:0]	Значение тока (мкА)
000	ACODE_TMP[7:0]	-
001	8'd0	100,59
010	8'd45	102,95
011	8'd85	107,67
100	8'd127	117,11
101	8'd170	135,99
110	8'd212	173,75
111	8'd255	249,27

Примечание: Диапазон применимых значений AGC_CTRL = 001 ... 101

Падение напряжения на сенсорной системе, определяемое сопротивлением датчиков Холла и током смещения, выводится на вывод MFS (вывод 8) для настройки тока смещения в диапазоне рабочих температур. Значение напряжения в диапазоне: $0,1 \cdot VDD \dots VDD - 0,1 \cdot VDD$.

5.7 Первичные усилители

Ток питания первичных усилителей (ACODE) задаётся регистрами BTRIM [2:0] и TRIM[1:0].

Каждый бит регистра BTRIM[2:0] управляет своим ключом. Младший бит увеличивает значение тока на один шаг, средний бит ещё на один шаг (оба на два шага), а старший бит - уменьшает на один шаг.

Регистр TRIM[1:0] позволяет более плавно задавать ток (с меньшим шагом).

На выход AGC_exC (вывод 9) выведен внутренний сигнал амплитудного детектора, который пропорционален амплитуде синусо-косинусного сигнала. В зависимости от уровня сигнала амплитудного детектора формируются статусные сигналы: недостаточности напряжённости магнитного поля (AALM) при дифференциальном напряжении на SINp-SINn (COSp-COSn) менее 0,2...0,45 В, и избыточности (AAHM) при дифференциальном напряжении более 1,8...2,2 В (превышает опорное напряжение АЦП), в соответствии с Рис. 9.

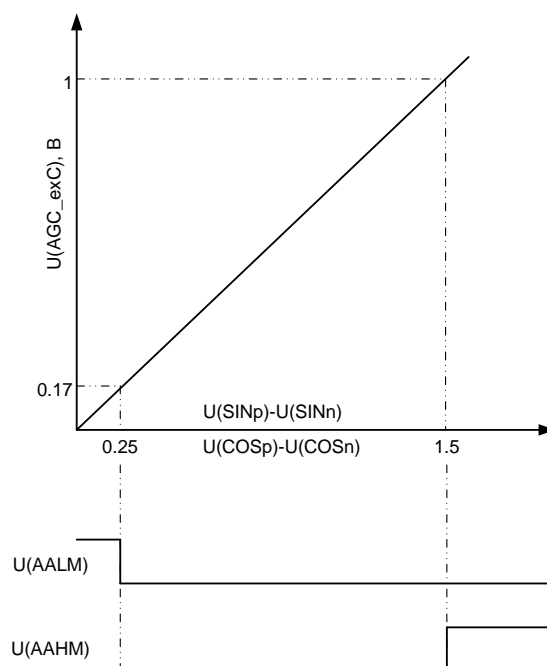


Рис. 9 – Статусные сигналы уровня магнитного поля

5.8 Блок программируемых дифференциальных усилителей.

Блок состоит из двух идентичных дифференциальных усилителей синусного и косинусного каналов (Рис. 10), с программируемым коэффициентом усиления GAIN[5:0], а также программируемым дифференциальным напряжением смещения OFFSET[8:0]. Полоса пропускания аналогового тракта 5 кГц.

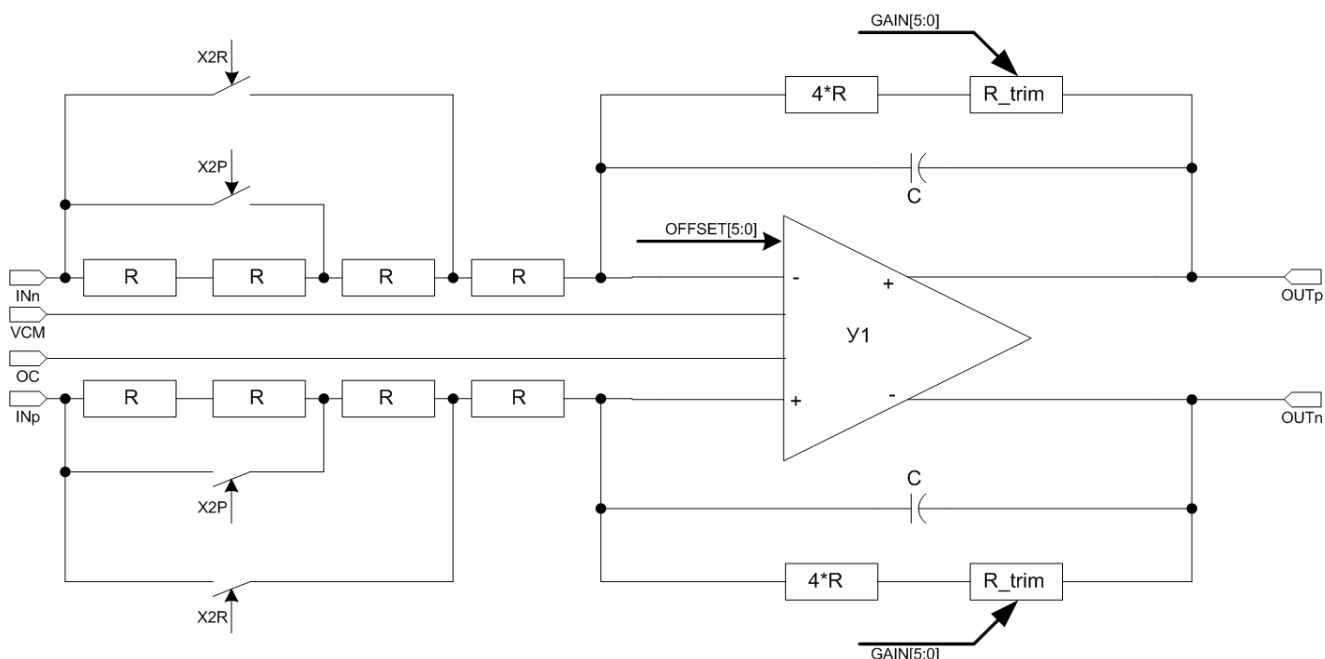


Рис. 10 - Структурная схема программируемого усилителя.

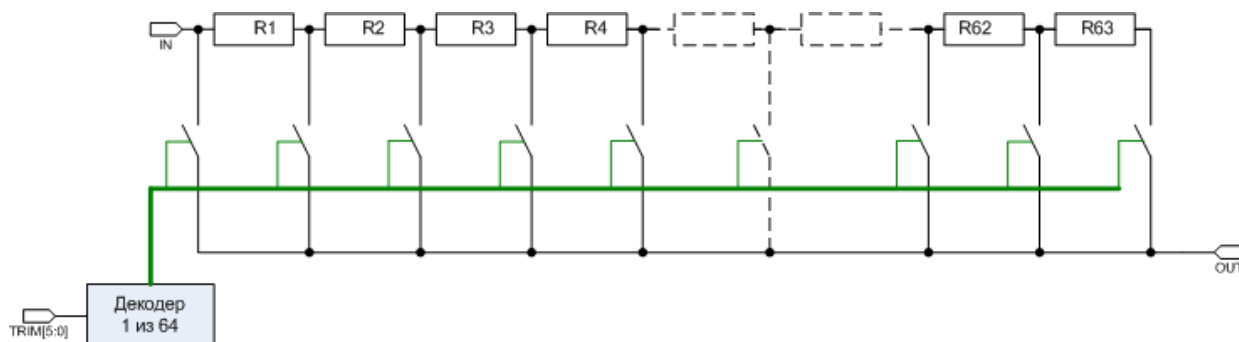


Рис. 11 - Программируемый резистор R_{trim} (GAIN[5:0]).

Программируемый резистор R_{trim} (GAIN[5:0]) обеспечивает диапазон регулировки коэффициента усиления от 1 до 2-х раз, с дискретностью 1/64.

При помощи программируемых резисторов (X2P, X2R) диапазон регулировки коэффициента усиления каналов может быть расширен до 8 раз, в соответствии с Табл. 7.

Табл. 7 - Диапазон регулировки коэффициента усиления

X2P	X2R	SIN_GAIN[5:0] COS_GAIN[5:0]	Диапазон регулировки коэффициента усиления	Шаг регулировки
0	0	от 0 до 63	от 1 до 2	0,016
1	0	то же	от 2 до 4	0,031
0	1	то же	от 4 до 8	0,063

Постоянное напряжение смещения нуля дифференциального усилителя синусного канала задаётся содержимым регистра OFFSET[8:0] в соответствии с Табл. 8. Регистр знаковый, код задаётся шестью младшими разрядами, знак задаётся в бите 13, масштаб регулировки можно увеличить, установив «1» в бите 14.

Табл. 8 – Регистры настройки параметров аналогового канала

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
SIN(COS)_OFFSET[8:0]										SIN(COS)_GAIN[5:0]					
масштаб		знак	код						знак	код					

Технология настройки усилителей приведена в разделе 8.4.1.

6 Блок цифровой обработки данных и формирования выходных сигналов

Блок цифровой обработки обеспечивает:

- загрузку и программирование настроек микросхемы;
- настройку параметров аналогового тракта;
- управление следящим АЦП;
- преобразованием сигналов АЦП канала датчика температуры;
- вычисление значения углового положения по сигналам с АЦП;
- выдачу кода углового положения в формате набора интерфейсов.

Логические уровни сигналов блока цифровой обработки задаются выходным напряжением (3,3 В) встроенного стабилизированного источника питания.

6.1 Загрузка и программирование настроек микросхемы

Настройка микросхемы осуществляется методом записи в регистры значений параметров преобразования и конфигураций интерфейсов. Регистры сгруппированы в адресном пространстве микросхемы. Адресное пространство разделено на области согласно Табл. 9. Расположение регистров в адресном пространстве показано в Приложении В, назначение регистров приведено в Табл. 10. Настройка параметров микросхемы на этапе отладки выполняется методом записи кодов настроек в соответствующие энергозависимые регистры (адр.: 22 ... 35). После завершения отладки окончательные настройки записываются в зеркально-расположенные ячейки энергонезависимой памяти EEPROM (адр.: 03 ... 16).

Табл. 9 – Распределение адресного пространства

Адрес	Наименование области	Примечание
00	CHIP_HARD_ID	Заводской идентификатор 16 бит версии кристалла CHIP_HARD_ID [15:0], доступный только на чтение.
01 02	CHIP_ID	Пользовательский идентификатор 32 бит CHIP_ID [31:0]
03 ... 16	EEPROM	Энергонезависимая программируемая память (далее EEPROM), в которой хранятся эксплуатационные настройки микросхемы
17	Сигнальные регистры	Предназначены для представления выходных сигналов
18		
19		
20 21	Тестовые регистры	Служебные регистры не предназначены для использования потребителем
22 ... 35	Область регистров	Текущие значения параметров настройки микросхемы

После подачи напряжения питания автоматически проверяется состояние бита EEPROM_LD_EN в области EEPROM. Если бит установлен, то данные из EEPROM (адреса 03...16) автоматически загружаются в зеркально расположенные регистры (адреса 22...35). Если бит EEPROM_LD_EN не установлен, то процедура загрузки не начинается, регистры (адреса 22...35) остаются в состоянии, определяемом топологией микросхемы.

Табл. 10 – Назначение регистров микросхемы

Наименование регистра	Назначение регистра	Описание	Адрес EEPROM, REG	Начальное значение
Идентификация микросхемы				
CHIP_HARD_ID [15:0]	Идентификационный номер типа и версии кристалла	Раздел 0	00	110100100100
CHIP_ID[31:0]	Пользовательский идентификатор микросхемы		01, 02	0
Управление микросхемой				
DSWP	Активация режима прямого доступа к NVRAM (необратимая команда приведёт к невозможности обмена данными по интерфейсу SPI/SSI во всех режимах!!!).	не менять	08, 27	0
FREQG[4:0]	Настройка тактовой частоты	Раздел 5	05, 24	настр.
EEPROM_LD_EN	Разрешение загрузки данных из EEPROM в текущие регистры.	Раздел 6.1	08, 27	0 (запрещено)
T_DIS	Отключение АЦП встроенного датчика температуры	Раздел 6.3	06, 25	0
Настройки сенсорной системы				
AGC_CTRL[2:0]	Настройка тока смещения датчиков	Раздел 0	16, 35	011
BTRIM[2:0]	Подстройка тока питания первичных усилителей	Раздел 5.7	08,27	100
CAL_EN	Включение канала калибровки	Раздел 5.3	05, 24	1
DAC_CTRL[2:0]	Подгонка начального тока элементов Холла	Раздел 0	16, 35	0
FR_DIS	Отключение сенсорной системы	Раздел 0	06, 25	0
REVOUT_SIN[7:0]	Настройка полярности элементов сенсорной системы синусного канала	не менять	06, 25	0
REVOUT_COS[7:0]	Настройка полярности элементов сенсорной системы косинусного канала	не менять	06, 25 08, 27	0
TRIM[1:0]	Подстройка тока питания первичных усилителей	Раздел 5.7 не менять	08, 27	10
Настройки аналогового тракта				
COS_GAIN[5:0]	Настройка усиления косинусного канала, в диапазоне заданном X2P, X2R (64 ступени)	Раздел 5.8	04, 23	настр.
COS_OFFSET[8:0]	Подгонка смещения дифференциального нуля косинусного канала		04, 23	настр.
SIN_GAIN[5:0]	Настройка усиления синусного канала, в диапазоне заданном X2P, X2R (64 ступени)		03, 22	настр.

Наименование регистра	Назначение регистра			Описание	Адрес EEPROM, REG	Начальное значение
SIN_OFFSET[8:0]	Подгонка смещения дифференциального нуля синусного канала				03, 22	настр.
CLKSC_DIV[1:0]	Настройка коэффициента деления для частоты модуляции			Раздел 5.5 не менять	05, 24	11
LPF_SET	Заводская установка			не менять	05,24	1
TAH	Заводская настройка			не менять	08, 27	0
X2G	Заводская установка			не менять	05, 24	0
X2P	Увеличение коэффициента усиления оконечных усилителей	2...4 раз	задаётся регистрами: SIN_GAIN, COS_GAIN	Раздел 5.8	08, 27	0
X2R		4...8 раз			08, 27	0
X2O	Заводская настройка			не менять	08, 27	0
Настройки следящего АЦП						
ADC_DIS	Отключение АЦП			Раздел 6.2	05, 24	0
C_TRIM[2:0]	Настройка крутизны ГУН АЦП			не менять	07, 26	011
DAC_CONT[1:0]	Управления частотой тактирования ЦАП			не менять	10, 29	11
LOCK_DIS	Отключение детектора захвата АЦП			не менять	07, 26	0
P_OFF	Отключение пропорциональной компоненты ПИ-регулятора АЦП			не менять	07, 26	0
PI_G2x	Увеличение коэффициента передачи ПИ-регулятора АЦП			не менять	07, 26	0
HRES	Заводская настройка			не менять	06,25	0
VCO_TRIM[3:0]	Настройка «мертвой зоны» ГУН АЦП			не менять	07, 26	0101
Настройки преобразования кода положения						
AOFFSET[11:0]	Установка значения углового смещения			Раздел 7.5.3	09, 28	0
DIR_SW	Выбор направления вращения			Раздел 6.2	10, 29	0
HYST[3:0]	Установка гистерезиса по направлению вращения			Раздел 0	07, 26	0
JTYPE_SET[11:0]	Настройка уровня срабатывания сигнала JTYPE			Раздел 6.6	14, 33	0
MTURN[9:0]	Настройка счётчика числа оборотов			Раздел 6.2	10, 29	0
MTURN_ON	Включение многооборотного режима в последовательность SPI			Раздел 6.2	10, 29	0
ZRP_ON	Включение режима задания углового смещения по сигналу с входа ZRP			Раздел 7.5.2	10, 29	1

Настройки интерфейсов				
Аналогового				
DAC_DIS	Отключение ЦАП аналогового выхода	Раздел 7.4	06, 25	0
PHI_MAX[11:0]	Верхний порог выходного напряжения (для блока ШИМ и аналогового выхода)	Раздел 7.5	11, 30	1111 1111 1111
PHI_MIN[11:0]	Нижний порог выходного напряжения (для блока ШИМ и аналогового выхода)	Раздел 7.5	12, 31	0
ШИМ (PWM)				
CLKO_PWM	Выбор функции выхода CLKO/PWM	Раздел 0	15, 34	0 (CLKO)
CLKO_DIS	Отключения вывода тактовой частоты (делённой на 16) на выход CLKO/PWM	Раздел 5.1	15, 34	0
PWM_DIS	Отключение интерфейса PWM	Раздел 0	16, 35	0
PWM_SET[3:0]	Настройка ШИМ	Раздел 0	12, 31	0
Инкрементального				
AB_SD	Выбор функции выходов A/DIR, B/STEP	Раздел 7.1	16, 35	0 (A, B)
IF[3:0]	Настройка фактора интерполяции инкрементального интерфейса	Раздел 7.1	09, 28	0
IW	Выбор ширины опорного импульса 90/180 градусов инкрементального интерфейса	Раздел 7.1	07, 26	0
INC_DIS	Отключение инкрементального интерфейса	Раздел 7.1	15, 34	0
REFCMP[11:0]	Настройка смещения опорного импульса инкрементального интерфейса в пределах одного оборота	Раздел 7.1	13, 32	0
REFMT[9:0]	Настройка смещения опорного импульса инкрементального интерфейса для многооборотного режима	Раздел 7.1	15, 34	0
Последовательного SSI/SPI				
MHE	Режим короткой посылки SSI интерфейса	не менять	08, 27	0
SPI_CFG[1:0]	Выбор длины SPI- посылки	Раздел 7.6	14, 33	0
SSI_MODE	Выбор протокола работы интерфейса SSI/SPI		16, 35	0
SSI_TM[1:0]	Настройка длительности таймаута интерфейса SSI		14, 33	0 (20 мс)
GREY	Выбор формата представления данных угла бинарный/код Грея	Раздел 7.6.2.1	16, 35	0
Трёхфазного UVW				
UVW_DIS	Отключение трёхфазного интерфейса	Раздел 7.2	16, 35	0
UVW_SET[3:0]	Настройка трёхфазного интерфейса	Раздел 7.2	11, 30	0
Тестовых				
ATST_AO	Выбор функции выхода ATSTO/AOUT	Раздел 6.8	15, 34	0 (ATSTO)
ATST_SET[4:0]	Управление аналоговым тестовым выходом		05, 24	0

DTST_EI	Включение сигнала прерывания для внешнего контроллера на выходе DTSTO	Раздел 6.5	15, 34	0 (DTSTO)
DTST_SET[3:0]	Управление цифровым тестовым выходом	Раздел 6.9	13, 32	0
DTSTO_DIS	Отключение мультиплексора DTSTO		16, 35	0
MFS_IDAC	Выбор функции выхода ATSTO (MFS/IDAC)	не менять	15, 34	0 (MFS)

После записи настроек в EEPROM для их применения микросхема **должна быть перезагружена при EEPROM_LD_EN=1**, путём выключения и включения напряжения питания.

6.2 Блок аналого-цифрового преобразования угловой информации

Микросхема содержит блок АЦП следящего типа, обеспечивающий преобразование разности амплитуд синусно-косинусного сигнала в код положения с разрешением 12 бит. Направление отсчёта угловой информации задаётся регистром DIR_SW.

Микросхема может использовать сигналы внешней сенсорной системы вместо встроенной (схема подключения на 8.2.6). АЦП отключается, если ADC_DIS=1, DAC_DIS=1.

6.3 Блок аналогового-цифрового преобразования значения температуры.

Микросхема содержит встроенный датчик температуры, предназначенный для определения температуры кристалла в диапазоне температур от -60 до $+150$ °C. АЦП датчика температуры формирует 9 битный беззнаковый выходной код, пропорциональный температуре кристалла. Характеристика преобразования датчика температуры приведена на Рис. 12.

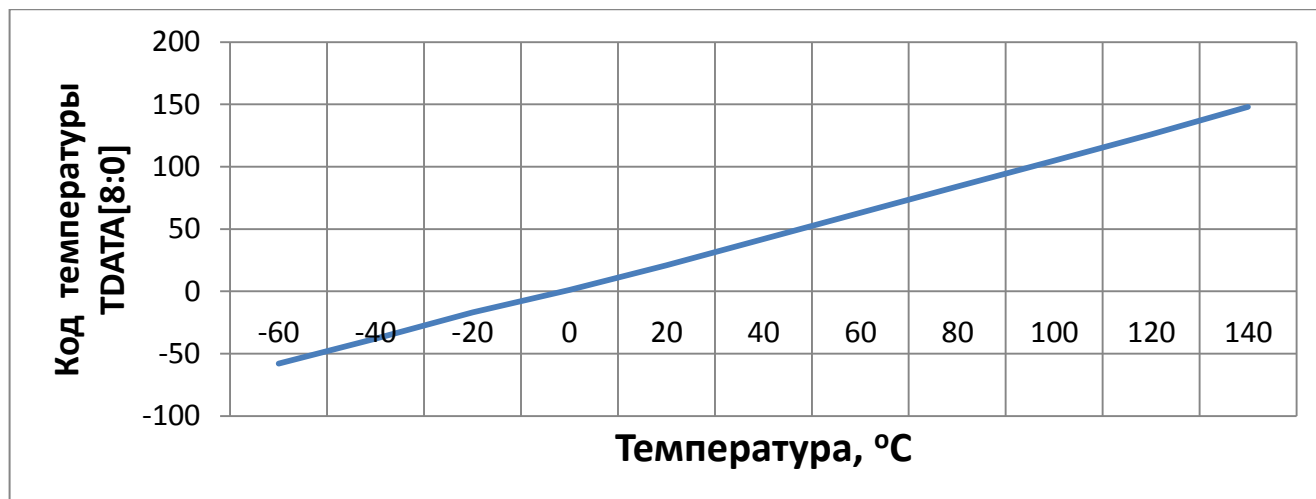


Рис. 12 – Характеристика преобразования температуры в код

АЦП датчика температуры отключён, если T_DIS=1.

Код температурного АЦП может быть считан из регистра TEMP[8:0] по адресу 36 или из SPI-последовательности в однооборотном (Табл. 24) и многооборотном (Табл. 26) режимах

6.4 Счетчик числа оборотов

10 битный реверсивный счетчик считает сигналы «Index». Направление счета задаётся регистром DIR_SW. Модуль счета определяется сигналом MTURN[9:0]. Временная диаграмма работы счетчика числа оборотов приведена на Рис. 13.

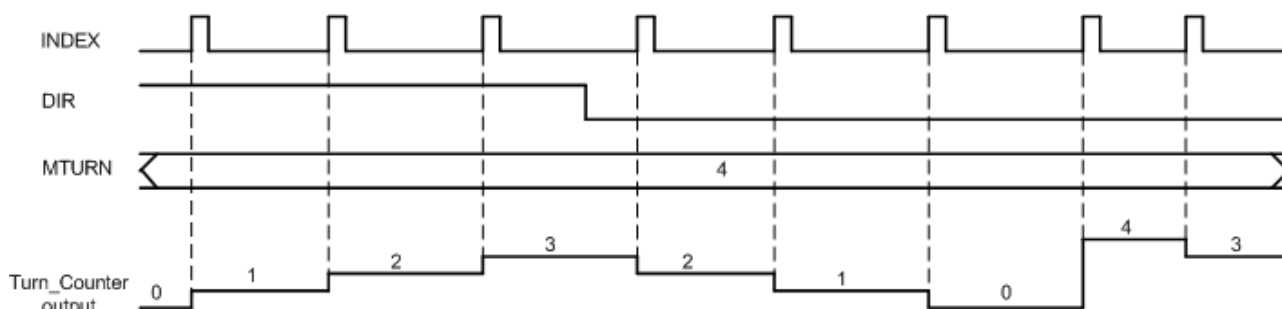


Рис. 13 – Временная диаграмма блока счетчика числа оборотов для MTURN[9:0] = 4

Многооборотный режим включается регистром MTURN_ON=1. Блок интерфейсов формирует 22-х битный код ANGLE_MT.

$$\text{ANGLE_MT} = 4095 + (4095 \times \text{MTURN})$$

Код ANGLE_MT формируется в энергозависимых регистрах представляется в SPI-последовательности при работе в многооборотных режимах (Табл. 25, Табл. 26).

Код ANGLE_MT хранится в энергозависимом регистре, и после повторного включения напряжения питания будет состоять только из кода текущего углового положения.

6.5 Формирование сигнала прерывания

Блок формирования сигнала прерывания отслеживает код регистра положения, и в случае его изменения выдает короткий импульс на выходе DTSTO (вывод 20), если установлен бит DTST_EI=1. Фронт этого импульса может использоваться внешним контроллером как сигнал прерывания, по которому необходимо считать новый угловой код через интерфейс SPI.

Чувствительность отслеживания изменения кода зависит от установленного значения гистерезиса кода в регистре HYST[3:0].

6.6 Компаратор угла поворота

Микросхема формирует сигнал JTYPE (вывод 18) когда значение текущего углового кода ANGLE_RAW[11:0] достигает значения, записанного в регистре JTYPE_SET[11:0]. Таблица истинности для сигнала JTYPE приведена в Табл. 11

Табл. 11– Таблица истинности для сигнала JTYPE

Состояние входов	JTYPE
$\text{ANGLE_RAW}[11:0] < \text{JTYPE_SET}[11:0]$	0
$\text{ANGLE_RAW}[11:0] \geq \text{JTYPE_SET}[11:0]$	1

Чувствительность отслеживания изменения кода зависит от установленного значения гистерезиса кода в регистре HYST[3:0].

6.7 Гистерезис кода на обратное вращение

12-ти битное преобразование оборота позволяет получить абсолютную угловую дискретность единицы углового кода: $360/4096 = 0,088^\circ$. Но реальный синусно-косинусный сигнал датчиков Холла, помимо полезной угловой информации, содержит и шумовую составляющую, определяемую свойствами датчиков.

Соотношение полезный сигнал/шум зависит от эффективности сенсорной системы, имеющей две составляющие:

- 1) Напряжённость магнитного поля между полюсами сенсора:
 - коэрцитивная сила магнита,
 - ширина магнитного зазора.
- 2) Ток питания сенсора:
 - AGC_CTRL[2:0]
 - BTRIM[2:0]
 - TRIM[1:0]

Чрезмерное увеличение тока требует корректировки усиления аналогового тракта: X2P, X2R, SIN(COS), GAIN[5:0]

Манипулируя этими составляющими возможно минимизировать уровень шума и добиться минимального дребезга младших разрядов, следовательно, и точности преобразования:

- при дребезге двух младших разрядов точность: $0,088 \times 4 = 0,35^\circ (\pm 0,17^\circ)$,
- при дребезге трёх младших разрядов точность: $0,088 \times 8 = 0,7^\circ (\pm 0,35^\circ)$,
- при дребезге четырёх младших разрядов точность: $0,088 \times 16 = 1,4^\circ (\pm 0,7^\circ)$.

Для обеспечения работы компаратора угла поворота и формирования сигнала прерывания для внешнего контроллера дребезг может быть исключён за счёт игнорирования значений младших битов кода (гистерезиса кода). Количество битов определяется значением регистра HYST[3:0], в соответствии с Рис. 14, и Рис. 15.

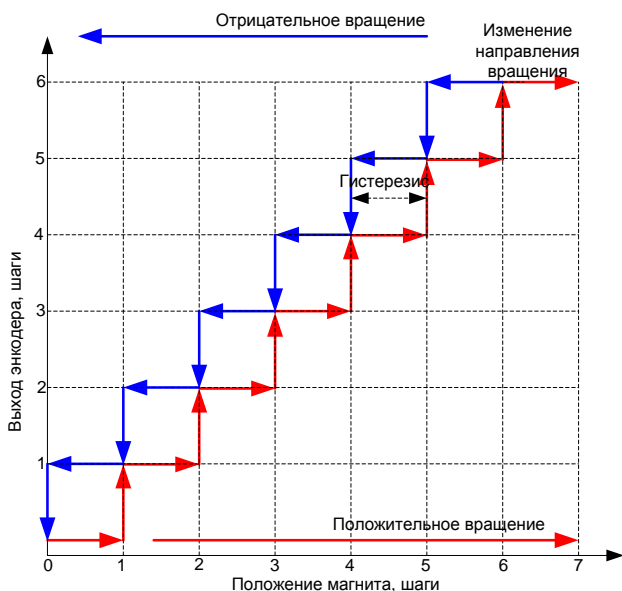


Рис. 14 – Цифровой гистерезис при HYST[3:0]=1 (1 бит)

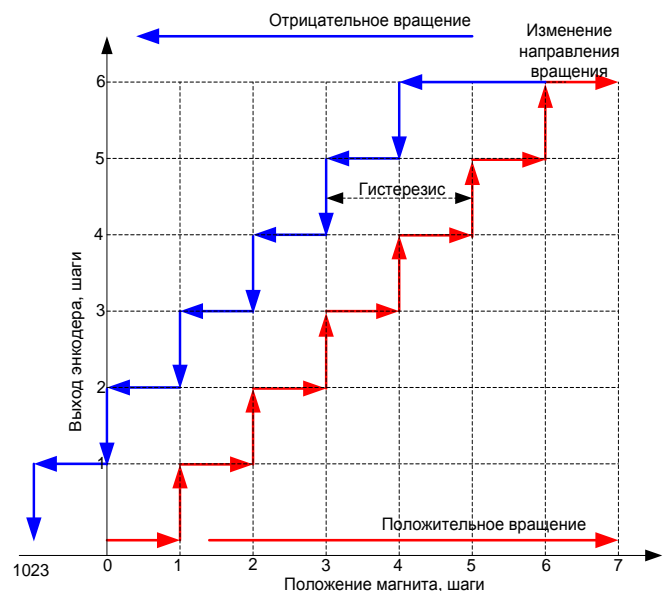


Рис. 15 – Цифровой гистерезис при HYST[3:0]=2 (2 бита)

6.8 Тестовый выход аналоговых сигналов ATSTO

На тестовый выход ATSTO (вывод 14) могут выводиться тестовые аналоговые сигналы для контроля работоспособности аналогового тракта изготовителем. При ATSTO_DIS=1 никакие сигналы на вывод 14 не выводятся.

6.9 Тестовый выход цифровых сигналов DTSTO

На тестовый выход DTSTO (вывод 20) могут выводиться сигналы мультиплексора тестовых сигналов, задаваемых регистром DTST_SET[3:0] (если DTST_EI=0), для контроля работоспособности цифрового тракта изготовителем. При DTSTO_DIS=1 никакие сигналы на вывод 20 не выводятся.

На выход DTSTO может выводиться сигнала прерывания для внешнего контроллера (п.6.5), если DTST_EI=1.

6.10 Статусные сигналы

Микросхема формирует статусные сигналы для диагностики аналогового тракта и АЦП.

Табл. 12 – Описание флагов микросхемы

Наименование	Описание	Активный статус	Примечание
LOCK_IN	Следящий АЦП захватил сигнал	0	адрес 18
AALM	Недостаточная индукция магнитного поля	1	вывод 11, адр.19
AAHM	Избыточная индукция магнитного поля	1	вывод 10, адр.19

6.11 Режим пониженного энергопотребления.

В режиме пониженного энергопотребления потребляемый ток уменьшается в 2 раза. Режим включается подачей напряжения логического уровня (3,3 В) на вход SLEEP (вывод 1).

7 Блок интерфейсов

7.1 Инкрементальный интерфейс

Инкрементальный интерфейс формирует сигналы двух видов:

- 1) сигналы инкрементального квадратурного интерфейса A/B/INDEX (Рис. 16);
- 2) сигналы вида «угловой шаг + направление вращения» STEP/DIR (Рис. 17).

Инкрементальные сигналы обоих видов выводятся на одни и те же выводы (32, 33), выбор представления сигналов осуществляется регистром AB_SD согласно Табл. 13.

Табл. 13 – Выбор представления сигналов A/B/INDEX и STEP/DIR

Вывод	AB_SD	
	0	1
32	B	STEP
33	A	DIR

Инкрементальный интерфейс отключён, если INC_DIS=1.

7.1.1 Сигналы A/B/INDEX

Временная диаграмма сигналов A/B/INDEX представлена на Рис. 16:

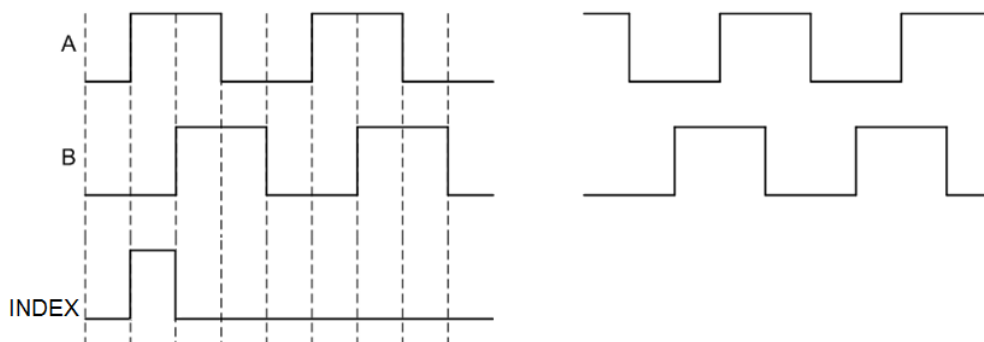


Рис. 16 – Временная диаграмма сигналов A/B/INDEX инкрементального интерфейса

За положительное направление вращения магнита принимается состояние, когда квадратура A приходит раньше квадратуры B.

Сигналом референтной метки в однооборотном режиме работы является опорный импульс на выходе INDEX (вывод 31), он формируется при угловом положении магнита 0° . Опорный импульс на выходе INDEX_MT (вывод 34) формируется при достижении модуля счёта, заданного в регистре MTURN, для референтной метки в многооборотном режиме. При работе в однооборотном режиме, на выходе INDEX_MT представляется опорный импульс однооборотного режима.

Настройку интерполяции инкрементального интерфейса проводят в соответствии с Табл. 14, настройку ширины опорного импульса проводят согласно Табл. 15.

Табл. 14– Настройка инкрементального интерфейса

IF[3:0]	Периодов A/B на оборот
0	1024
1	512
2	256
3	128
4	64
5	32
6	16
7	8
8	4
от 9 до 15	2

Табл. 15 – Настройка ширины опорного импульса

IF[3:0]	IW	Ширина импульса INDEX, (в угловых отсчетах)
0	0	1
	1	2
1	0	2
	1	4
2	0	4
	1	8
≥ 3	x	8

Примечания

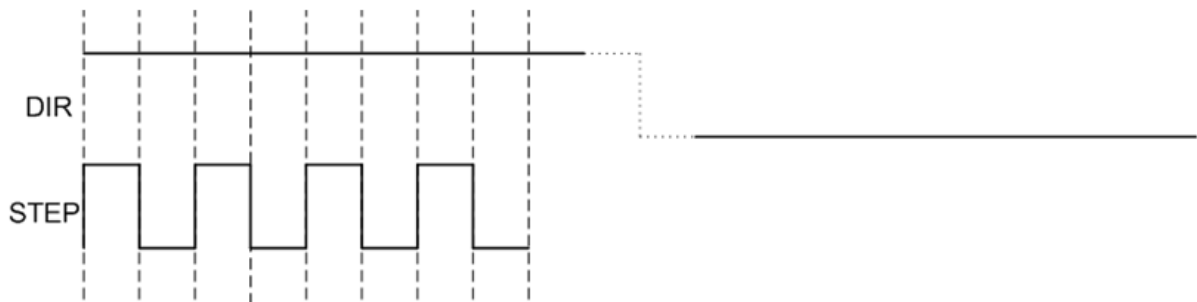
- Ширина импульса INDEX_MT аналогична импульсу INDEX
- Длительность импульса может меняться из-за дребезга младших разрядов углового кода.

Настройка смещения опорного импульса:

- в пределах одного оборота задаётся регистром REFCMP[11:0],
- для многооборотного режима REFMT[9:0].

7.1.2 Сигналы STEP/DIR

Временная диаграмма сигналов STEP/DIR инкрементального интерфейса показана на [Рис. 17](#)



[Рис. 17](#) – Временная диаграмма сигналов STEP/DIR

Уровень сигнала DIR зависит от направления вращения магнита (возрастания или убывания кода). Дребезг младших разрядов кода не позволит сформировать устойчивый сигнал DIR. Для блокировки дребезга кода необходимо подобрать значение регистра гистерезиса углового кода. HYST[3:0] (п. 0).

7.2 Интерфейс управления трёхфазным бесколлекторным двигателем

Интерфейс для управления трёхфазным бесколлекторным двигателем (далее трехфазный интерфейс) из данных положения формирует сигналы коммутации обмоток бесколлекторного двигателя. Выходные сигналы трехфазного интерфейса можно настраивать под двигатели с разным числом полюсов. На один период данных положения приходится от 1 до 15 периодов трехфазного сигнала.

Диапазон входного кода, в течение которого выдерживается определенная комбинация (1 из 6) сигналов UVW определяется формулой:

$$T = \frac{ANGLE_MAX}{(6 \cdot UVW_SET)}$$

Соответственно на каждую комбинацию сигналов UVW приходится угловое положение:

$$\frac{360 \cdot MTURN}{(6 \cdot UVW_SET)} \text{ (градусов)}$$

Связь между количеством полюсов ротора мотора N_{pole} и значением UVW_SET[3:0] описывается формулой:

$$N_{pole} = 2 \cdot UVW_SET[3:0]$$

При UVW_SET[3:0]=4'd0 диаграмма аналогична UVW_SET[3:0]=4'd1.

Временные диаграммы работы трехфазного интерфейса для управления двигателями с двумя и четырьмя полюсными роторами приведены на [Рис. 18](#) и [Рис. 19](#).

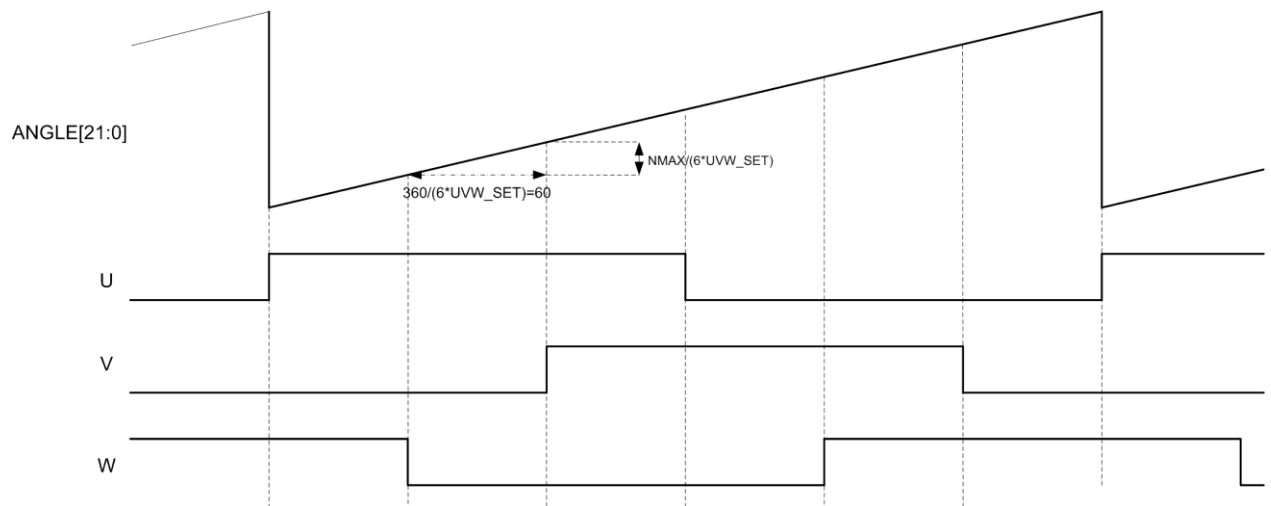


Рис. 18 – Временные диаграммы сигналов трехфазного интерфейса для управления двигателем с двух полюсным ротором, при $UVW_SET[3:0]=4'd1$

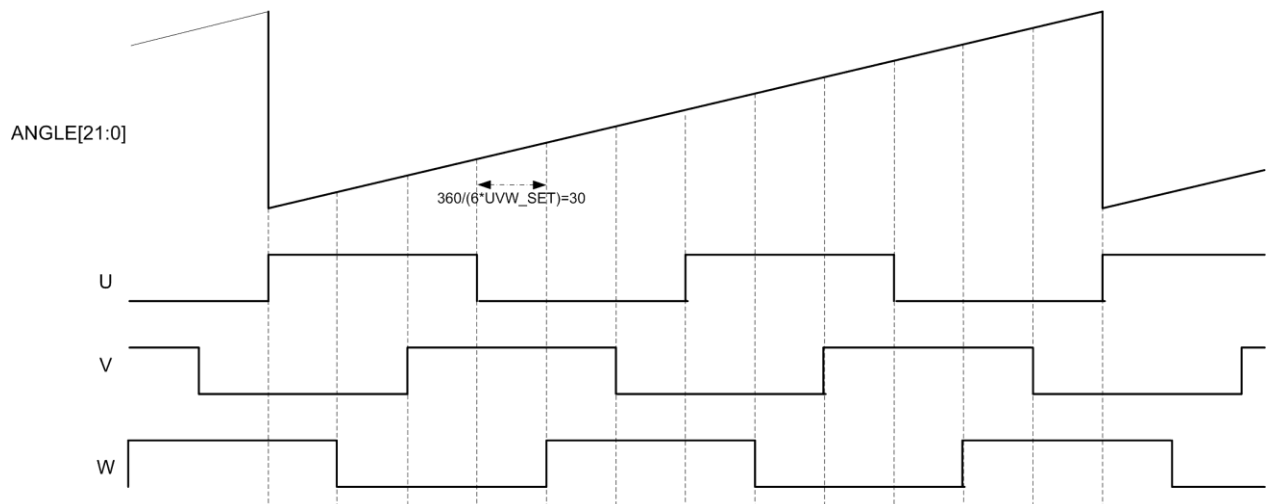


Рис. 19 – Временные диаграммы сигналов трехфазного интерфейса для управления двигателем с четырех полюсным ротором, при $UVW_SET[3:0]=4'd2$

Интерфейс UVW отключён при $UVW_DIS=1$

7.3 Интерфейс широтно-импульсной модуляции (PWM)

Интерфейс выдаёт ШИМ-сигнал полученный в результате преобразования углового кода. В зависимости от значения бита PWM_SET[3] выходной сигнал может содержать код ошибки (10% логической «1» в начале каждого периода импульса и 10% логического «0» в конце каждого периода импульса). Временные диаграммы интерфейса ШИМ в различных режимах работы приведены на Рис. 20 и Рис. 21.

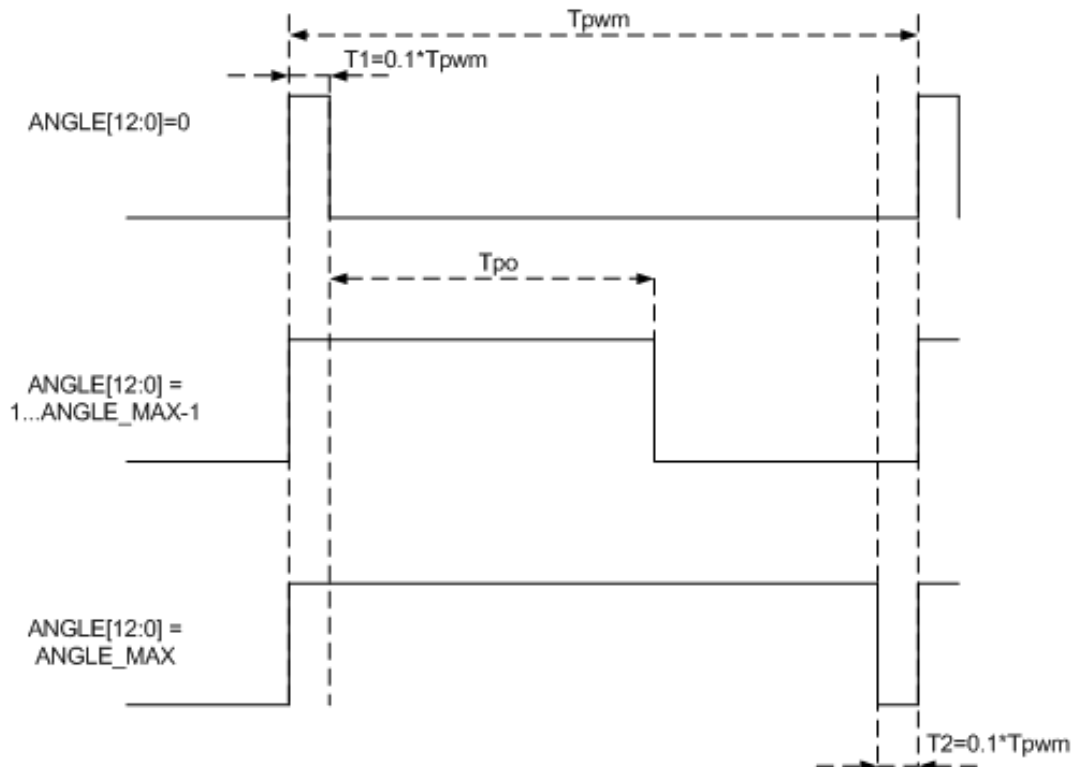


Рис. 20 – Временные диаграммы сигнала ШИМ для случаев минимального, промежуточного и максимального кодов положения при PWM_SET[3]=0.

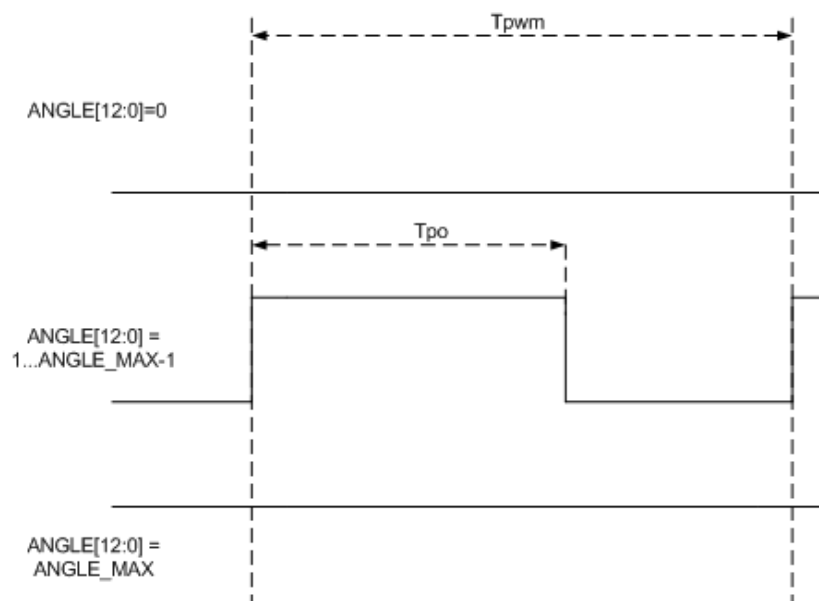


Рис. 21 – Временные диаграммы сигнала ШИМ для случаев минимального, промежуточного и максимального кодов положения при PWM_SET[3]=1.

Наличие ШИМ сигнала на выходе CLKO/PWM определяется состоянием регистра CLKO_DIS (Табл. 16) и регистра PWM_DIS. При PWM_DIS=1 ШИМ интерфейс отключён.

Табл. 16 – Выбор функции выхода CLKO/PWM

Значение регистра CLKO_DIS	Сигнал на выходе CLKO/PWM
0	сигнал генератора тактовой частоты /16
1	сигналы ШИМ интерфейса

Значения временных параметров ШИМ определяют по формуле:

$$T_{pwm} = \frac{1}{f_{pwm}}$$

В случае если PWM_SET[3]=0, то значение T_{po} определяют по формуле:

$$T_{po} = \left[\frac{ANGLE}{(ANGLE_MAX + 1)} \right] \cdot 0,8 \cdot T_{pwm}$$

В случае если PWM_SET[3]=1, то значение T_{po} определяют по формуле:

$$T_{po} = \left[\frac{ANGLE}{(ANGLE_MAX + 1)} \right] \cdot T_{pwm}$$

Табл. 17 – Настройки интерфейса ШИМ (PWM)

Значение PWM_SET[2:0]	Состояние выхода
0	Интерфейс выключен, PWM=0
1, 5-7	$f_{pwm} = \frac{CLK_SYS}{[ANGLE_MAX+1]}$, если (610Hz@ANGLE_MAX=8191/CLK_SYS=5MHz)
2	$f_{pwm} = \frac{2 \cdot CLK_SYS}{[ANGLE_MAX+1]}$, если $ANGLE_MAX \leq 4095 (\leq 360^\circ)$
3	$f_{pwm} = \frac{4 \cdot CLK_SYS}{[ANGLE_MAX+1]}$, если $ANGLE_MAX \leq 2047 (\leq 180^\circ)$
4	$f_{pwm} = \frac{8 \cdot CLK_SYS}{[ANGLE_MAX+1]}$, если $ANGLE_MAX \leq 1023 (\leq 90^\circ)$

Выходной сигнал интерфейса представляется на выводе 19, который может быть сконфигурирован регистром CLKO_PWM, согласно таблицы Табл. 18.

Табл. 18 – Таблица управления режимом работы вывода 13 (CLKO/PWM)

CLKO_PWM.	Наименование сигнала на выводе 19
0	Сигнал тактовой частоты
1	Сигнал PWM

Для включения ШИМ-интерфейса установить CLKO_DIS=1, и установить значение PWM_SET отличное от «0», в соответствии с Табл. 17.

7.4 Линейный аналоговый выход

ЦАП линейного аналогового выхода осуществляет преобразование кода углового положения (в пределах одного оборота) в линейный сигнал, пропорциональный коду углового положения. При частоте преобразования 1 МГц, максимальная скорость вращения магнита составляет 14, 648 об/мин. Зависимость выходного сигнала линейного аналогового выхода приведена на рисунке 25, основные параметры приведены в таблице 27.

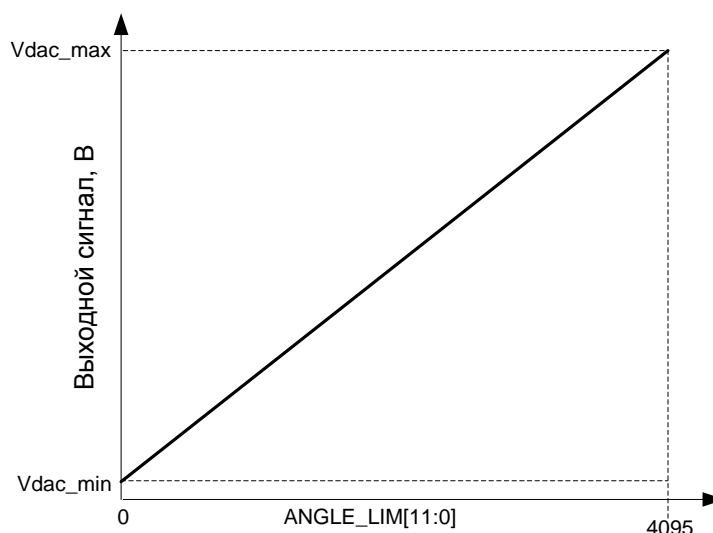


Рис. 22 – Зависимость выходного сигнала от входного кода при $\text{PHI_MAX}[11:0] = 11111111111_2 (4095_{10})$

Табл. 19– Параметры ЦАП линейного аналогового выхода

Наименование параметра, единица измерения	Обозначение параметра	Норма параметра
Разрядность преобразования, бит	Res	12
Верхний уровень выходного напряжения, В	Vdac_max	2,35
Нижний уровень выходного напряжения, В	Vdac_min	0,05
Время преобразования (без емкостной нагрузки), мкс, не более	tconv	2
Время установления выходного сигнала (90% от значения) при скачкообразном изменении входного кода на 25% от всей шкалы и нагрузке 5 нФ, мс	ts	2
Максимальный выходной ток, мА, не менее	Iout_max	2
Максимальная емкость нагрузки, пФ	C _L	5

- Аналоговый выход отключён, если DAC_DIS=1.
- Сигнал линейного аналогового выхода AOOUT выводится на вывод 13, который может быть переключен в тестовый режим ATSTO регистром ATST_AO=1.
- Для получения сигнала на линейном выходе необходимо установить значения максимального уровня PHI_MAX[11:0] и минимального уровня PHI_MIN[11:0].
- Если угловых ограничений нет то:
 - PHI_MAX[11:0] = 11111111111₂
 - PHI_MIN [11:0] = 00000000000₂

7.5 Коррекция угловой информации:

7.5.1 Ограничивающие пороги

Для линейного аналогового интерфейса и интерфейса широтно-импульсной модуляции (ШИМ) блок преобразования кода положения формирует сигнал (на один оборот), для которого могут устанавливаться ограничивающие пороги: PHI_MIN[11:0] и PHI_MAX[11:0]. Это может быть использовано, если угол поворота магнита менее 360°.

В этом случае, при повороте магнита от нулевого угла, выходной сигнал ANGLE_LIM будет иметь значение, соответствующее коду угла PHI_MIN[11:0], пока угол поворота магнита не достигнет значения кода PHI_MIN[11:0]. Далее сигнал будет расти пропорционально углу поворота магнита, пока угол не достигнет значения кода PHI_MAX[11:0]. При дальнейшем повороте магнита значение выходного сигнала останется ограниченным на уровне значения кода PHI_MAX[11:0], и меняться не будет до достижения угла 360°, как показано на Рис. 23 в соответствии с формулами:

$ANGLE_LIM[11:0] = PHI_MAX[11:0]$, если $ANGLE_TURN[11:0] \geq PHI_MAX[11:0]$;

$ANGLE_LIM[11:0] = PHI_MIN[11:0]$, если $ANGLE_TURN[11:0] \leq PHI_MIN[11:0]$;

$ANGLE_LIM[11:0] = ANGLE_TURN[11:0]$.

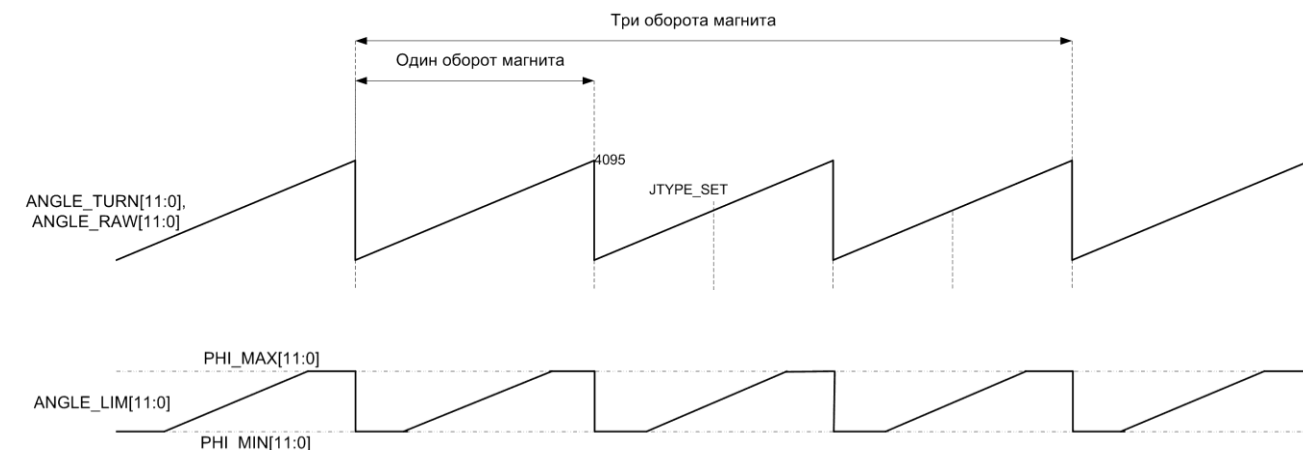


Рис. 23 Диаграммы сигналов цифровой части микросхемы для пороговых значений PHI_MAX и PHI_MIN.

7.5.2 Коррекция кода углового положения по сигналу ZRP

Начало отсчёта угловой информации относительно текущего положения вала может быть задано фронтом импульса на входе ZRP (вывод 17). Диаграмма формирования выходного кода `ANGLE_TURN[11:0]` показана на Рис. 24.

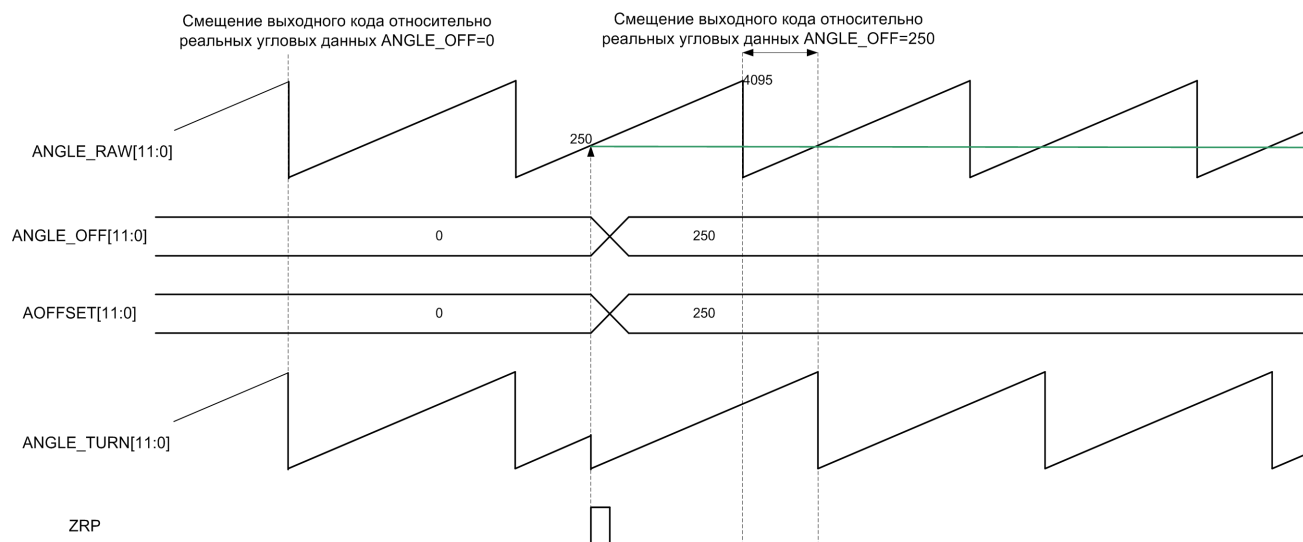


Рис. 24 – Диаграммы работы цифровой части микросхемы при установке нулевого значения углового положения по сигналу ZRP.

7.5.3 Коррекция кода нулевого положения смещением кода

Любое угловое положение вала может быть задано как нулевое, записью кода смещения по отношению к первичному (конструктивному) нулевому коду `ANGLE_RAW` положения магнита (относительно корпуса микросхемы) с помощью регистра `AOFFSET[11:0]`, как показано на Рис. 25. В регистр записывается код угла, от которого будет осуществляться отсчёт выходного кода. `ANGLE_TURN`.

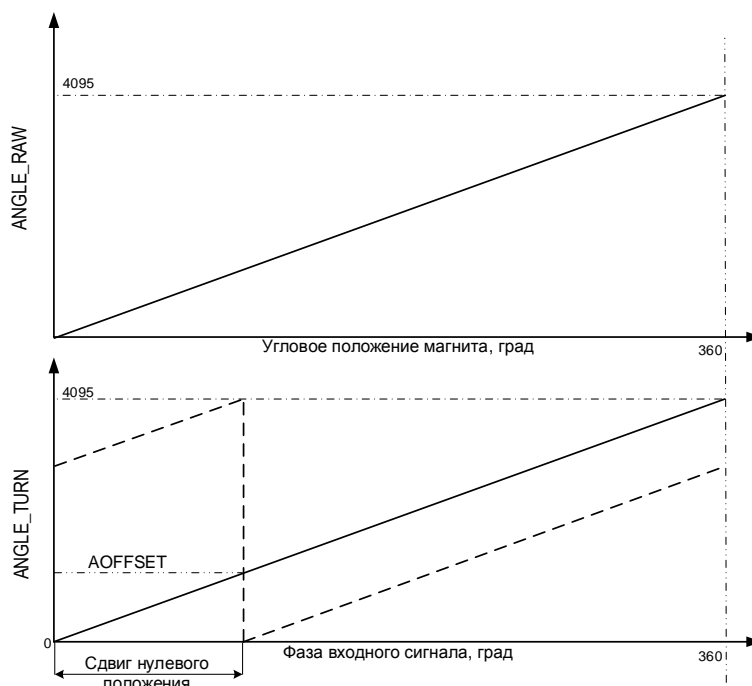


Рис. 25 – Характеристика преобразования с учётом сдвига нулевого положения.

Диаграммы сигналов цифровой части микросхемы для различных значений AOFFSET[11:0] показаны на Рис. 26 и Рис. 27.

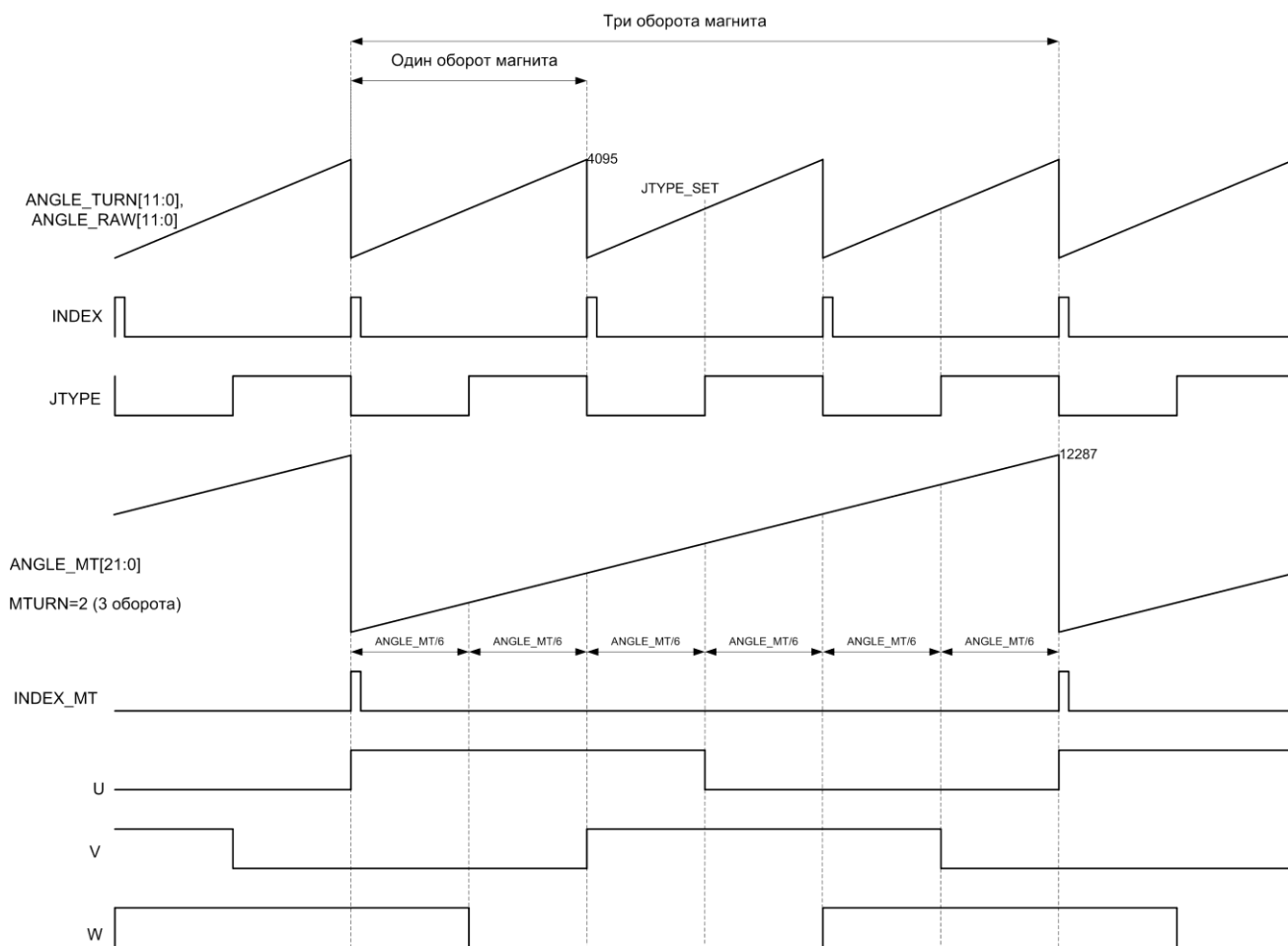


Рис. 26 – Диаграммы сигналов блока преобразования при AOFFSET[11:0]=12'd0

- MTURN=3'd3,
- MTURN_ON=1'b1,
- JTYPE_SET=12'd2048,
- UVW_SET=4'd1;
- REFCMP[11:0]=12'd0;
- REFMT[9:0]=10'd0

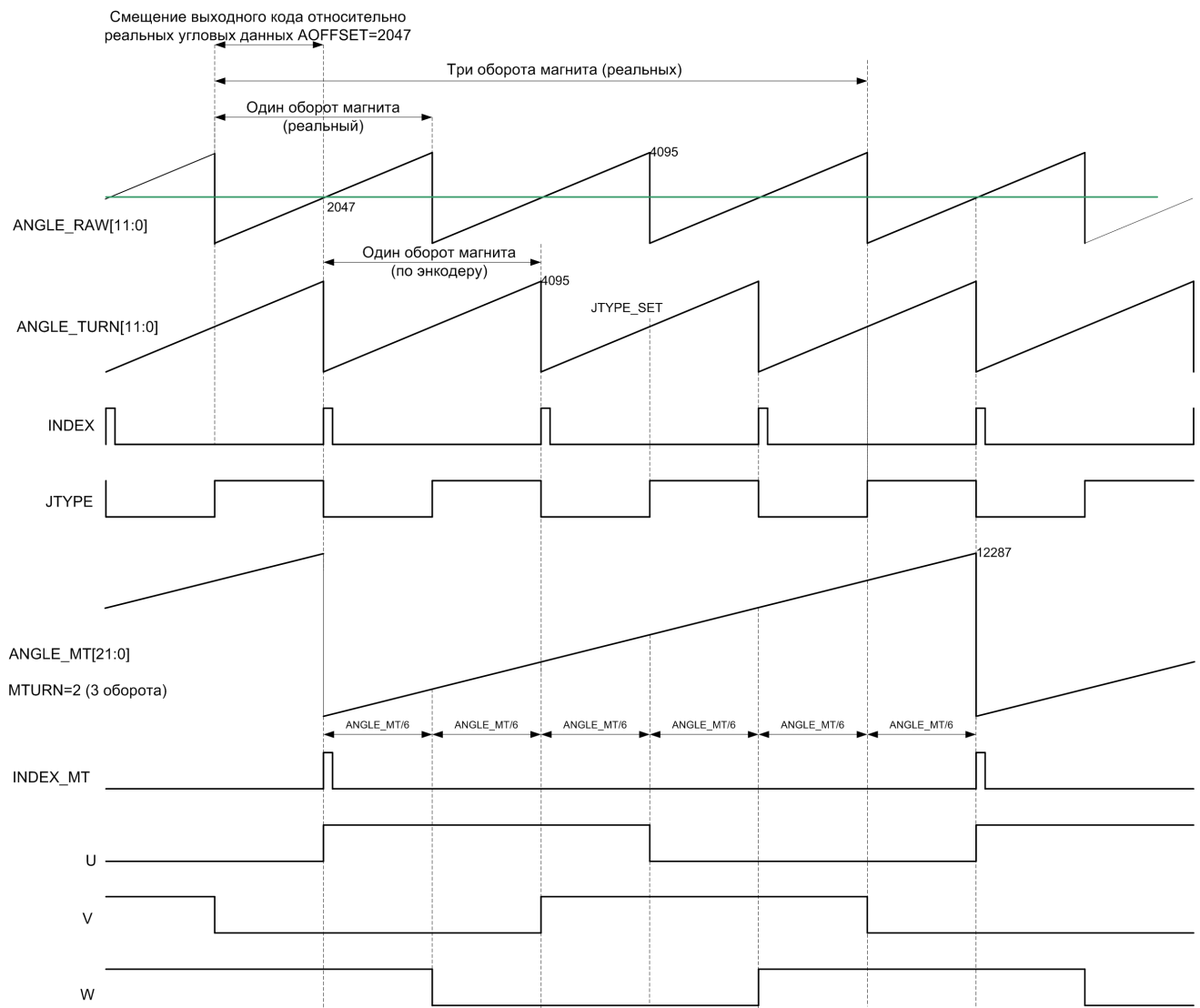


Рис. 27 – Диаграммы сигналов блока преобразования при $AOFFSET[11:0]=12'd2047$;

- $MTURN=3'd3$,
- $MTURN_ON=1'b1$,
- $JTYPE_SET=12'd2048$,
- $UVW_SET=4'd1$;
- $REFCMP[11:0]=12'd0$;
- $REFMT[9:0]=10'd0$

7.6 Последовательный цифровой интерфейс SPI/SSI

Интерфейс SPI/SSI работает по протоколам SPI или SSI (Микросхема – SLAVE, программатор – MASTER). Выбор протокола осуществляется регистром SSI_MODE ($SSI_MODE = 0$ для протокола SPI) и логическим входом CFG. Первым в посылке передается старший бит.

7.6.1 Работа по протоколу SPI

По протоколу SPI интерфейс работает в одном из двух режимов, определяемых состоянием входа CFG (вывод 24):

- CFG=1 – режим настройки.
- CFG=0 – режим передачи выходных данных.

Вход CFG имеет встроенную притяжку к GND..

В процессе настройки параметров микросхемы производится конфигурирование микросхемы, включающее в себя запись данных в регистр или чтение данных, записанных в регистр. В режиме настройки интерфейс SSI/SPI работает по протоколу SPI «SSI_MODE=0».

Запись данных осуществляется построчно (перезаписью состояния каждого бита адресной строки). Перезаписать только отдельные биты в строке невозможно!

7.6.1.1 Режим настройки по протоколу SPI

Для перехода в режим настройки необходимо вход CFG (вывод 24) установить в «1», регистр SSI_MODE=0.

Программирование микросхемы производится двумя двухбайтными послылками:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<i>команда (2 байта)</i>															

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
<i>данные (2 байта)</i>															

Диаграмма первой послылки записи/чтения приведена на Рис. 28, второй на Рис. 29.

1) команда (запись/чтение адресной строки)

- MASTER устанавливает CS в низкий уровень (Рис. 28), запускает сигнал тактовой частоты SCK, и передаёт 16 битную команду (Табл. 20) через выход MOSI.
- MASTER устанавливает CS в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK.

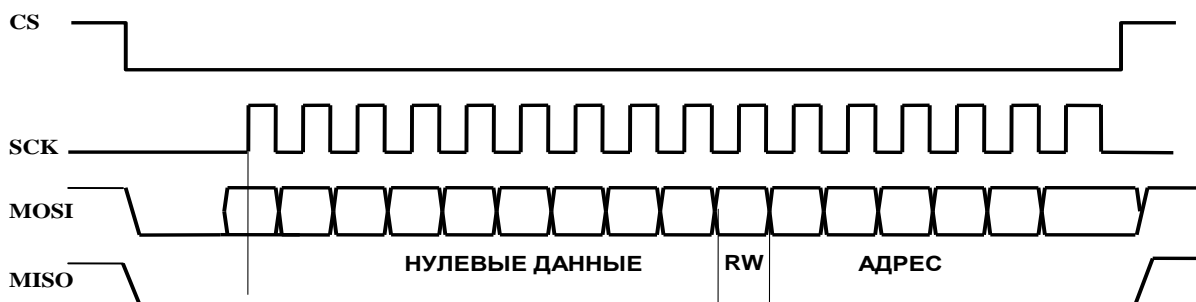


Рис. 28 – Временная диаграмма первой послылки (Команда)

Табл. 20 – Формат первой послылки (Команда)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	RW	Адрес (Приложение Г)					

Примечание

- «бит RW=0» – чтение данных.
- «бит RW=1» – запись данных.

2) передача данных адресной строки

- Через 10...50 мс MASTER устанавливает CS в низкий уровень (Рис. 29), запускает сигнал тактовой частоты SCK, и передаёт по MOSI (или считывает MISO) 16 бит данных строки адресного пространства микросхемы (Табл. 21) в соответствии с картой адресации регистров.
- MASTER устанавливает CS в высокий уровень и останавливает сигнал тактовой частоты SCK.

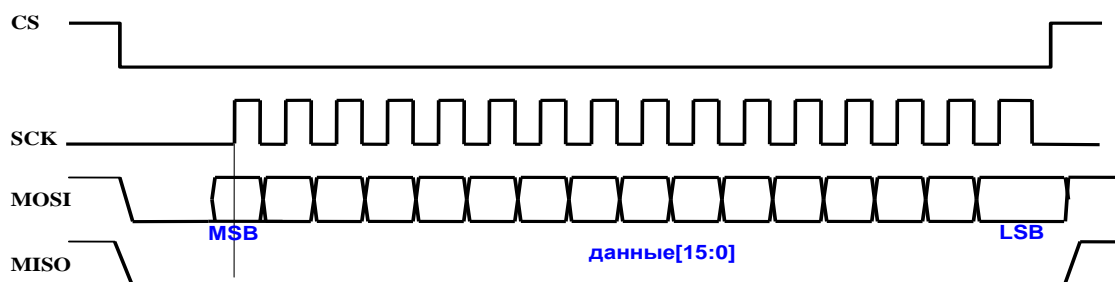


Рис. 29 – Временная диаграмма второй посылки (Данные)

Табл. 21 – Формат второй посылки (Данные)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Данные 16 бит															

7.6.1.2 Режим передачи серийных выходных данных по протоколу SPI

Для перехода в режим передачи выходных данных необходимо вход CFG (вывод 24) установить в «0», регистр SSI_MODE=0. Интерфейс SPI/SSI работает только на выдачу угловых данных, независимо от состояния входа MOSI. Формат и длина последовательности данных определяется регистрами: SPI_CFG[1:0] и MTURN_ON.

Временная диаграмма работы интерфейса SSI/SPI по протоколу SPI приведена на Рис. 30, временные параметры приведены Табл. 22.

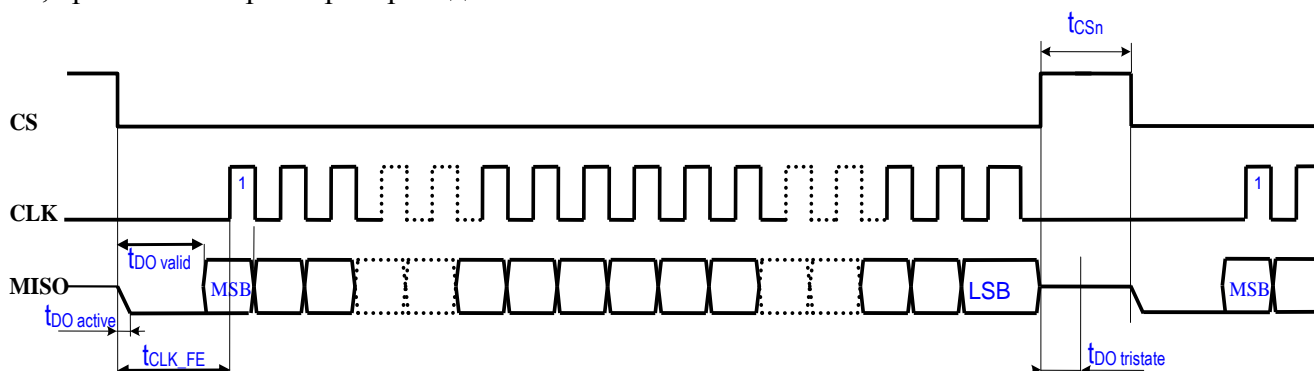


Рис. 30 – Временная диаграмма работы интерфейса SSI/SPI по протоколу SPI

Табл. 22 – Временные параметры интерфейса SPI/SSI по протоколу SPI.

Наименование параметра, единица измерения	Обозначение параметра	Значение параметра
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
Время перехода выхода в третье состояние по окончании загрузки, нс	$t_{DO\ tristate}$	100
Минимальная длительность сигнала CS, нс	t_{CSn}	500
Максимальная значение частоты на шине CLK, МГц	f_{CLK}	4

Форматы посылок интерфейса приведены в Табл. 23...Табл. 27.

Табл. 23

Однооборотный режим, короткая посылка -16 бит ($\omega_{\max}=2\ 775\text{ об/мин}$)							SSI_MODE		SPI_CFG[1:0]		MTURN_ON		Вход CFG		
							0		00		0		0		
Формат посылки															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Контр.	уровень сигнала		АЦП	Данные положения ANGLE[11:0]											
CRC1	AANM	AALM	LOCK_IN	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

ANGLE[11:0] – данные положения

AALM, AAHM – статус уровня сигнала

LOCK_IN= индикация АЦП в режиме слежения

$CRC1 = \{ANGLE[11:0], LOCK_IN, AALM, AAHM\}$

Табл. 24

Однооборотный режим, нормальная посылка – 32 бита, ($\omega_{\max} = 1\ 800$ об/мин)							SSI_MODE		SPI_CFG[1:0]		MTURN_ON		Вход CFG		
							0		01		0		0		
Формат посылки															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Контр.	-	-		-	АЦП	-	Показания датчика температуры TEMP[8:0]								
CRC3	ELOAD_READY	0	0	-	LOCK_IN	0	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Контр.	уровень сигнала		-	Данные положения ANGLE[11:0]											
CRC2	AAHM	AALM	0	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

TEMP[8:0] – показания датчика температуры

CRC2 = ^{ANGLE[11:0], AALM, AAHM}

CRC3 = ^{TEMP[8:0], LOCK_IN, ELOAD_READY}

Табл. 25

Табл. 25

Многооборотный режим, нормальная посылка - 32 бита, ($\omega_{\max} = 1\,800$ об/мин)							SSI_MODE		SPI_CFG[1:0]		MTURN_ON		Вход CFG		
							0		00		1		0		
Формат посылки															
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Контр.	-	-	уровень сигнала			-	АЦП	-	-	Данные положения ANGLE[21:0]					
CRC5	ELOAD_READY	0	AAHM	AALM	-	LOCK_IN	-	-	[21]	[20]	[19]	[18]	[17]	[16]	[15]
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Контр.	Данные положения ANGLE[21:0]														
CRC4	[14]	[13]	[12]	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

ANGLE[21:0] – данные положения в многооборотном режиме

ANGLE[21:0] = {TURN[21:12], ANGLE[11:0]}

CRC4 = ^ANGLE[14:0]

CRC5 = ^{AAHM, AALM, LOCK_IN, ELOAD_READY, ANGLE[21:15]}

Табл. 26

Табл. 20

Многооборотный режим, длинная посылка – 48 бит, ($\omega_{\max} = 1\,255$ об/мин)									SSI_MODE	SPI_CFG[1:0]	MTURN_ON	Вход CFG				
									0	01	1	0				
Формат посылки																
47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	
Контр.	ACODE[7:0]								Показания датчика температуры TEMP[8:0]							
CRC6	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	
TEMP[8:0]		Контр.	уровень сигнала		-	АЦП	-	-	Данные положения ANGLE[21:0]							
[1]	[0]	CRC5	AAHM	AALM	0	LOCK_IN	0	0	[21]	[20]	[19]	[18]	[17]	[16]	[15]	
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Контр.	Данные положения ANGLE[21:0]															
CRC4	[14]	[13]	[12]	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]	

CRC6 = ^{TEMP[8:0], ACODE[7:0]}

Табл. 27

Многооборотный режим, длинная посылка – 80 бит (для настройки и диагностики)								SSI_MODE		SPI_CFG[1:0]		MTURN_ON		Вход CFG	
								0		10		0		0	
Формат посылки															
79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64
Контр.	-	-	-	ANGLE_RAW[11:0]											
CRC11	0	0	0	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]
63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	48
Контр.	-	-	QUAD[1:0]		ADC_COS[12:0]										
CRC10	0	0	[1]	[0]	[12]	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]
47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
Контр.	ADC_COS[12:0]			ADC_SIN[12:0]											
CRC9	[1]	[0]	[12]	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]
31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
Контр.	-	-		АЦП		-	Показания датчика температуры TEMP[8:0]								
CRC8	0	0	0	0	LOCK_IN	0	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Контр.	APY		-	Данные положения ANGLE[11:0]											
CRC7	AAHM	AALM	0	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

ADC_SIN[12:0] – выход АЦП синусного канала

ADC_COS[12:0] – выход АЦП косинусного канала

QUAD[1:0] – номер квадранта

ANGLE_RAW[11:0] – выход счетчика импульсов интерполятора

CRC7 = ^{ANGLE[11:], AALM, AAHM}

CRC8 = ^{TEMP[8:0], LOCK_IN}

CRC9 = ^{SIN_CH[12:0], COS_CH[1:0]}

CRC10 = ^{COS_CH[12:0], QUAD[1:0]}

CRC11 = ^ANGLE_RAW[11:0]

7.6.2 Работа по протоколу SSI

Для передачи выходных данных по протоколу SPI установить вход CFG=0, регистр SSI_MODE=1. Временная диаграмма работы интерфейса SSI/SPI по протоколу SSI приведена на Рис. 31, временные параметры приведены в Табл. 28. Первым передаётся старший бит.

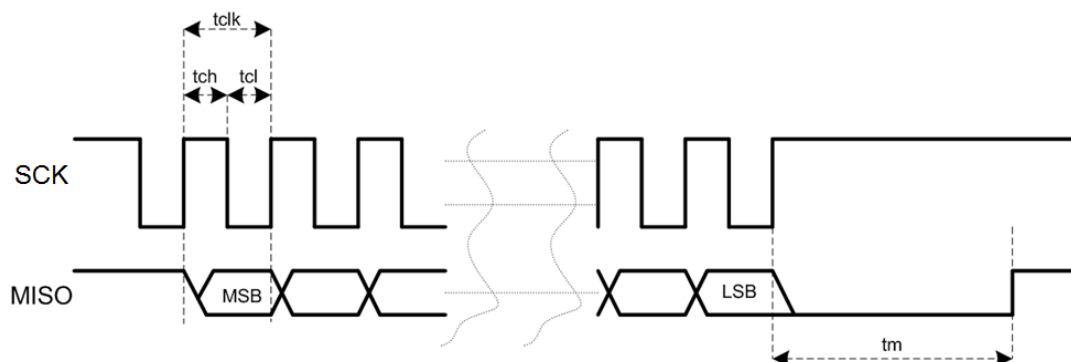


Рис. 31 – Временная диаграмма работы интерфейса SSI/SPI по протоколу SSI

Последовательность начинает передаваться на нисходящем фронте второго тактирующего импульса!

Табл. 28– Временные параметры интерфейса SSI/SPI по протоколу SSI

Наименование параметр, единица измерения	Обозначение параметра	Значение	Примечание
Максимальное значение периода тактового сигнала SCK, нс	t_{clk}	250	
Максимальное значение частоты тактового сигнала SCK, МГц	f_{SSI}	4	
Максимальное значение длительности импульса тактового сигнала интерфейса, нс	t_{ch}	125	
Максимальное значение длительности паузы тактового сигнала интерфейса, нс	t_{cl}	125	
Время паузы после передачи, мкс:			
SSI_TM[1:0] = 00	t_m	20	Скорость вращ. ω_{max} , об/мин: 695 1 190 1 850 2 775
SSI_TM[1:0] = 01		10	
SSI_TM[1:0] = 10		5	
SSI_TM[1:0] = 11		2	

Однооборотный режим, короткая SSI посылка -16 бит	SSI_MODE	SPI_CFG[1:0]	MTURN_ON	Вход CFG
	1	00	0	0

Формат посылки

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Контр.	уровень сигнала		АЦП	Данные положения ANGLE[11:0]											
CRC1	AAHM	AALM	LOCK_IN	[11]	[10]	[9]	[8]	[7]	[6]	[5]	[4]	[3]	[2]	[1]	[0]

ANGLE[11:0] – данные положения

AALM, AAHM – статус уровня сигнала

LOCK_IN – индикация работы АЦП в режиме слежения

$CRC1 = \wedge\{ANGLE[11:0], LOCK_IN, AALM, AAHM\}$

7.6.2.1 Передача данных в формате кода Грея

Бинарный выходной код может представляться в формате кода Грея, при GREY=1. Код Грея обладает свойством непрерывности бинарной комбинации, изменение кодируемого числа на единицу соответствует изменению кодовой комбинации только в одном разряде в соответствии с Табл. 29. Код Грея используется для упрощения выявления потери (искажения) кода при передаче последовательных угловых данных.

Табл. 29 соответствия кода Грея бинарному коду

Число	Бинарный код	Код Грея
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

7.7 Идентификация микросхемы

Для идентификации микросхемы предназначены два регистра:

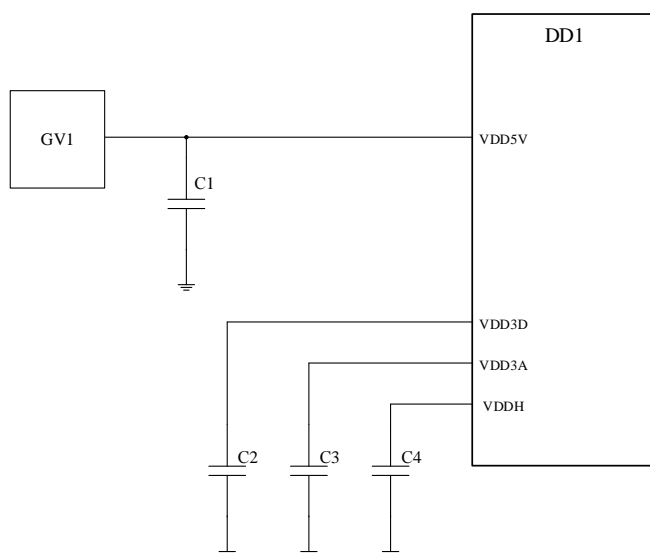
- 1) Регистр CHIP_HARD_ID[15:0] представляет собой идентификатор типа, года выпуска и версии кристалла. Его значение формируется при проектировании кристалла и позволяет однозначно установить версию топологии микросхемы. Регистр доступен только на чтение. У микросхемы с EEPROM памятью CHIP_HARD_ID[15:0] = 0x0D24
- 2) Регистр CHIP_ID[31:0] – идентификатор программируемый пользователем, доступен на запись и на чтение.

8 Использование по назначению

8.1 Эксплуатационные ограничения

Микросхемы устойчивы к воздействию статического электричества (СЭ) с потенциалом не менее 2000 В.

Микросхема питается от источника питания напряжением $(+5 \pm 0,5)$ В, по схеме Рис. 32, через встроенный понижающий преобразователь. Амплитудное значение напряжения пульсации может быть не более 100 мВ. Возможно питание от стабилизированного источника питания напряжением $(+3,3 \pm 0,33)$ В, по схеме Рис. 33.

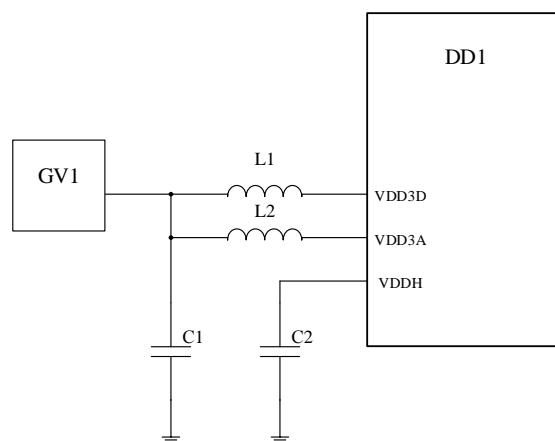


DD1 – микросхема
GV1 – источник питания

Конденсаторы:

- C1 емкостью 0,1 мкФ;
- C2, C3, C4 емкостью 10 мкФ.

Рис. 32– Схема подключения микросхемы к источнику питания $(+5 \pm 0,5)$ В



DD1 – микросхема
GV1 – источник питания
L1, L2 – дроссели на ферритовых кольцах ($R=600$ Ом)

Конденсаторы:

- C1 емкостью 0,1 мкФ;
- C2 емкостью 10 мкФ.

Рис. 33 – Схема подключения микросхемы к источнику питания $(+3,3 \pm 0,33)$ В

Обязательна установка блокировочного керамического конденсатора номиналом 0,1 мкФ между выводом VDD5V микросхемы и землей печатной платы. Конденсатор устанавливать как можно ближе к микросхеме.

Обязательна установка танталовых конденсаторов между выводами VDD3A, VDD3D, VDDH и землей печатной платы номиналом 10 мкФ. Конденсаторы устанавливать, как можно ближе к микросхеме.

При эксплуатации микросхем должны быть соединены между собой: выводы DGND, AGND. Для снижения пульсаций допускается включение разделительных индуктивностей между выводами DGND, AGND и землей печатной платы.

Обязательно соединение монтажной площадки с обратной стороны корпуса с землей печатной платы.

Рекомендуется установка керамического конденсатора номиналом не более 10 нФ на вывод AGC_exC вблизи вывода микросхемы.

Порядок подачи и снятия напряжения питания и входных сигналов на микросхемы должен быть следующим:

- 1) при включении подача входных напряжений производится одновременно или после подачи напряжения питания;
- 2) при выключении входные напряжения снимают: до, или одновременно со снятием напряжения питания.

Устанавливать и извлекать микросхемы из контактных приспособлений, а также производить замену микросхем необходимо только после снятия напряжений со всех выводов микросхемы.

Запрещается подсоединение (отсоединение) внешних электрических цепей при включенном электропитании.

8.2 Типовые схемы включения микросхемы

8.2.1 Схема подключения микросхемы к микроконтроллеру

Типовая схема подключения микросхемы к внешнему микроконтроллеру через интерфейс SPI/SSI по протоколу SPI показана на Рис. 34.

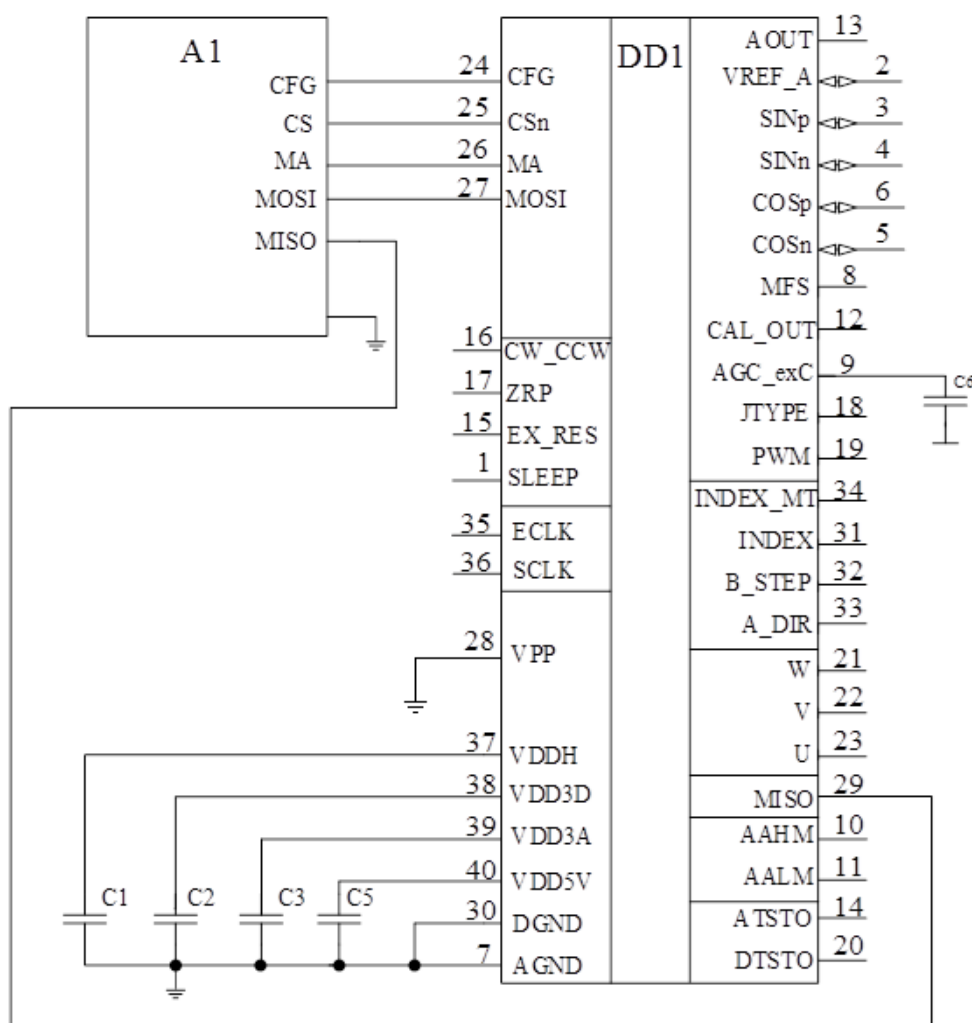
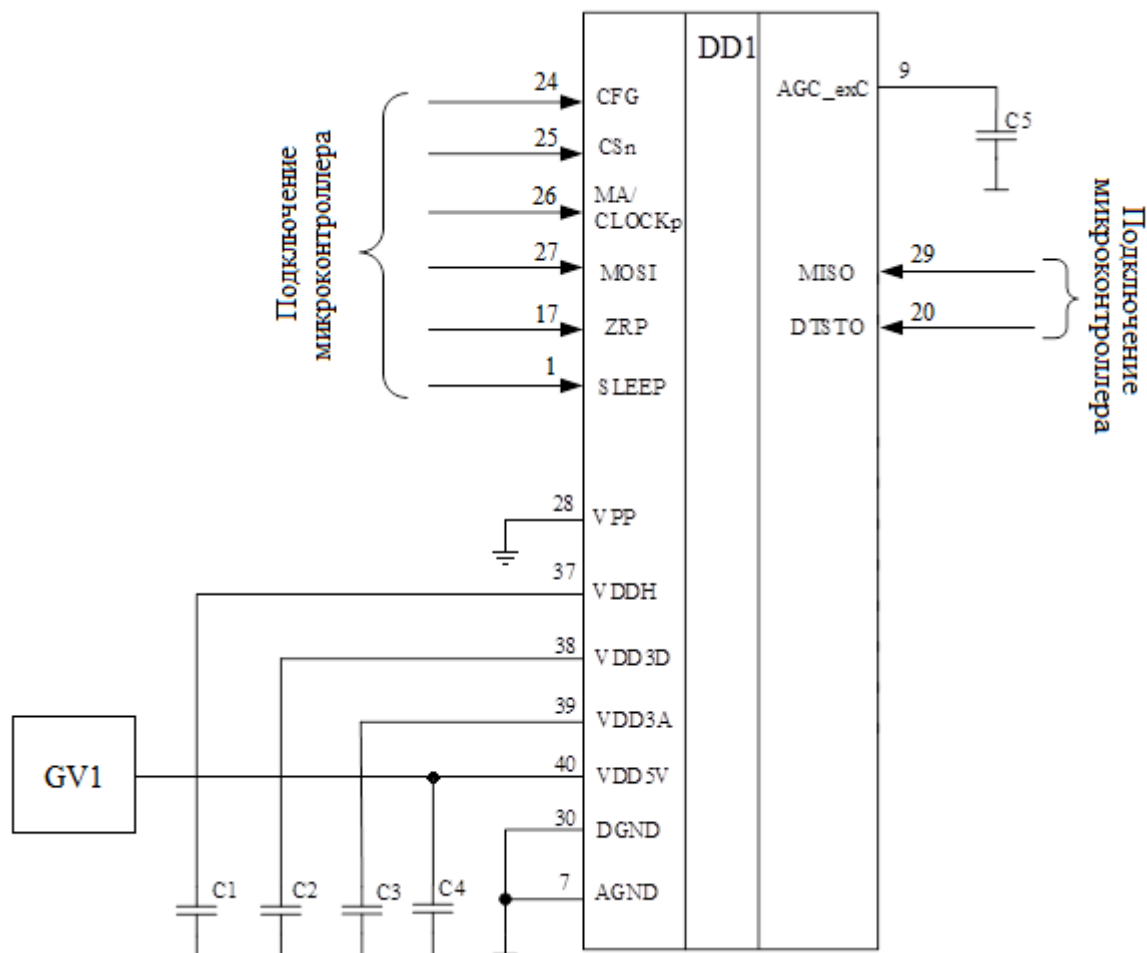


Рис. 34 – Типовая схема подключения микросхемы к микроконтроллеру через интерфейс SPI/SSI по протоколу SPI.

8.2.2 Схема подключения микросхемы с управлением от внешнего микроконтроллера

Типовая схема подключения микросхемы к внешнему микроконтроллеру показана на Рис. 35. При изменении углового положения микросхема энкодера вырабатывает сигнал прерывания микроконтроллеру на выходе DTSTO. После получения прерывания микроконтроллер инициирует чтение данных по протоколу SPI. При работе с данной схемой подключения необходимо установить бит DTST_EI=1



DD1 – микросхема K1382HM025;

GV1 – источник питания

Рис. 35– Типовая схема подключения микросхемы с управлением от внешнего микроконтроллера

8.2.3 Схема подключения микроконтроллера к нескольким микросхемам по общей шине SPI

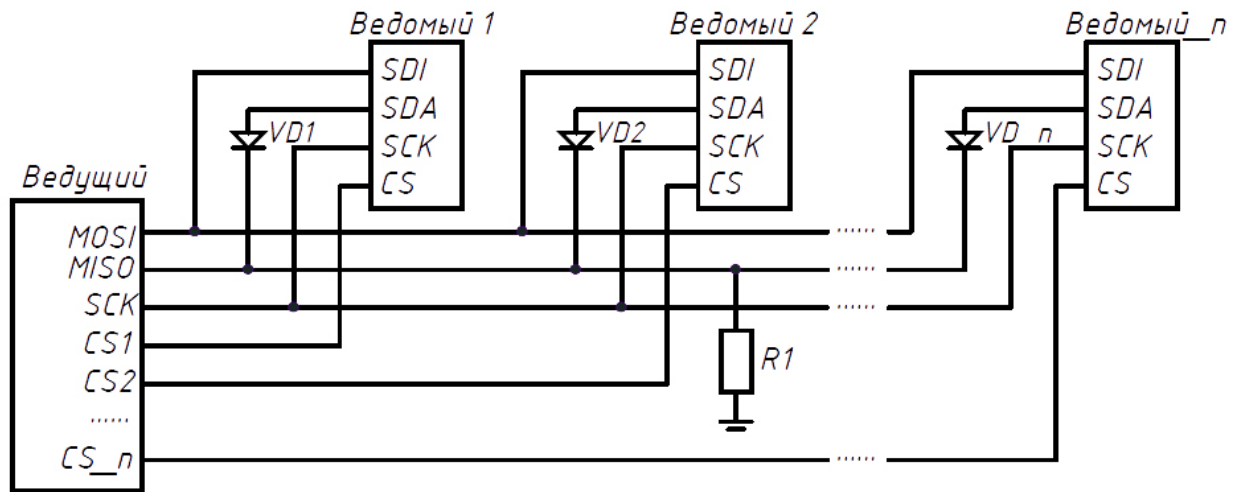


Рис. 36 - Схема включения при использовании нескольких ИМС на одной шине

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. 36. 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).

8.2.4 Схема подключения через интерфейс SPI/SSI по протоколу SSI

При использовании микросхемы в качестве датчика положения с интерфейсом SPI/SSI по протоколу SSI, по схеме, приведенной на Рис. 37, необходимо установить бит SSI_MODE=1.

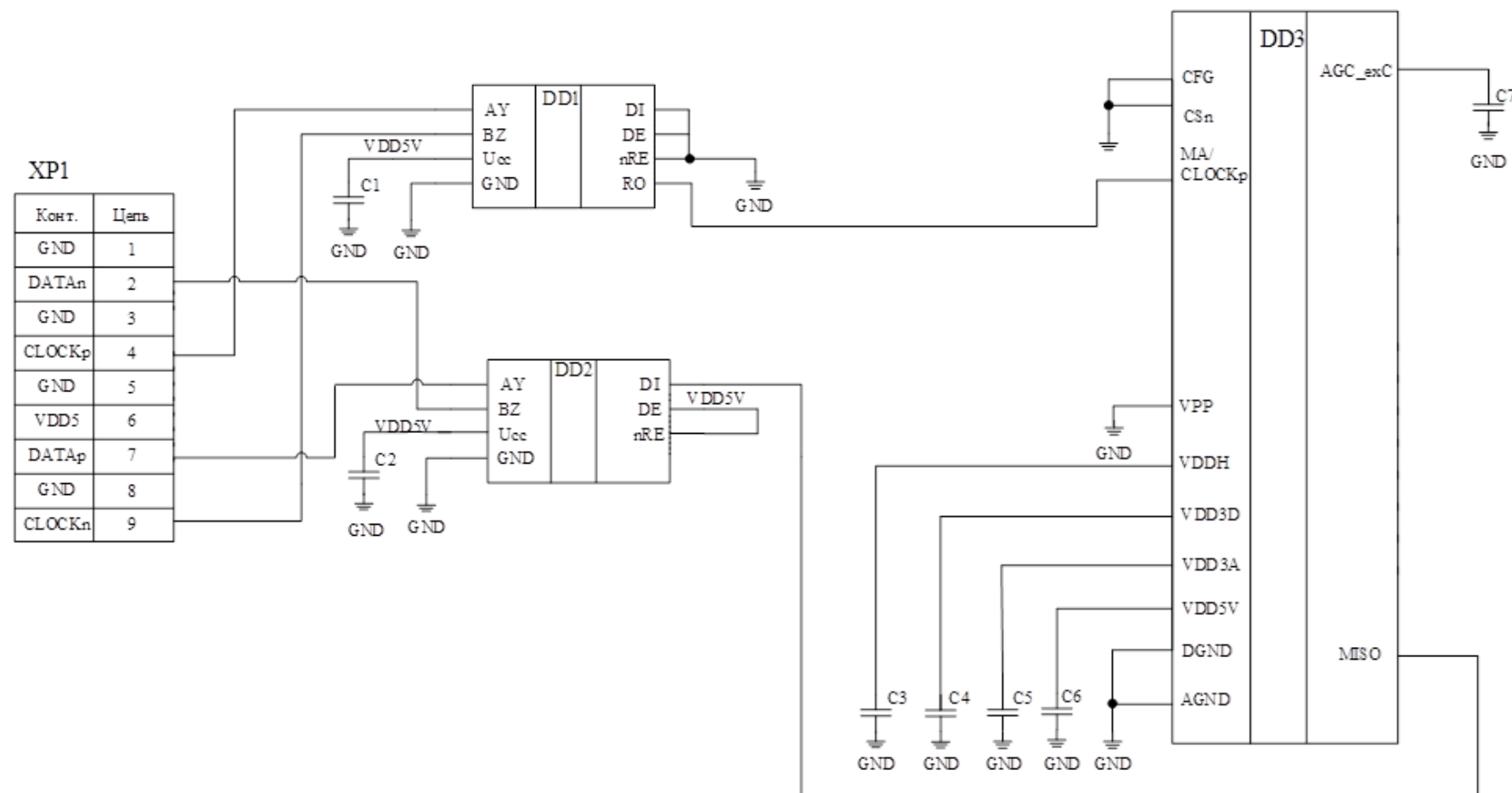


Рис. 37– Типовая схема подключения микросхемы через интерфейс SPI/SSI по протоколу SSI

8.2.5 Схема подключения микросхемы через аналоговый выход

При использовании микросхемы в качестве датчика положения с аналоговым выходом, по схеме, приведенной Рис. 38, необходимо установить бит ATST_AO=1.

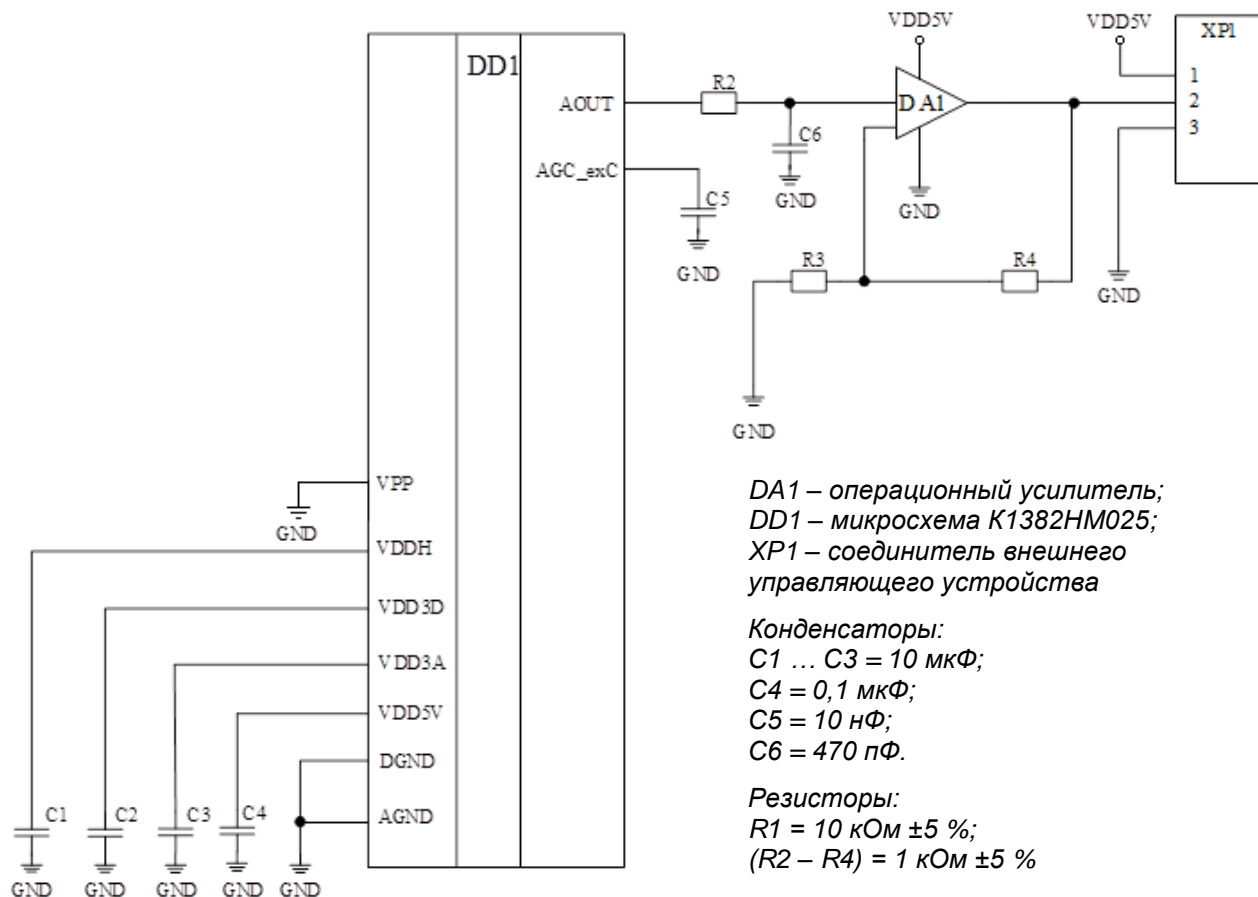


Рис. 38 – Типовая схема включения датчика угла с аналоговым выходом

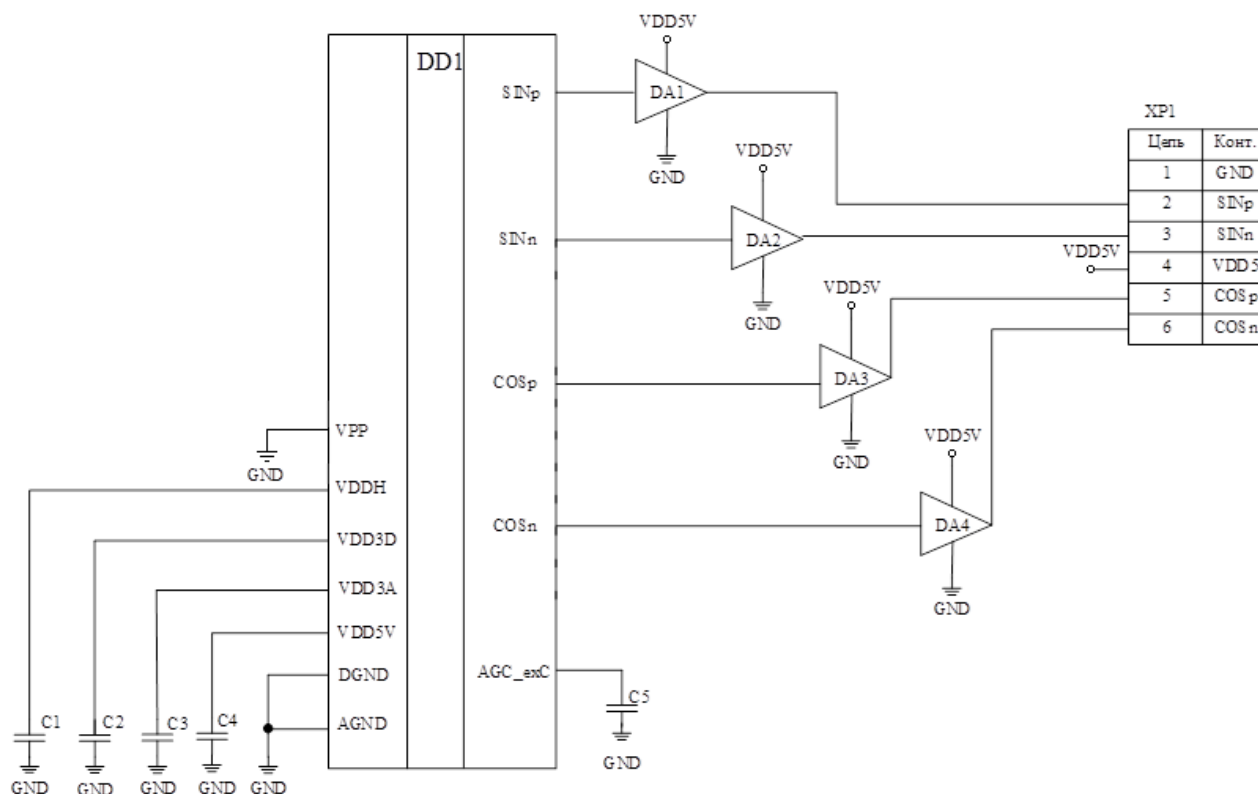
Максимальное значение диапазона изменения выходного напряжения на выходе DA1 определяется по формуле

$$U_{max} = 2,35 \cdot \left(1 + \frac{R4}{R3}\right)$$

где R3, R4 – номинал резистора на Рис. 38.

8.2.6 Схема подключения микросхемы через аналоговый синусно-косинусный дифференциальный выход.

При использовании микросхемы в качестве датчика положения с аналоговым синусно-косинусным дифференциальным выходом, по схеме, приведенной на Рис. 39, необходимо установить биты ADC_DIS=1, DAC_DIS=1.



DD1 – микросхема K1382HM025;

DA1 – DA4 – операционный усилитель (в режиме повторителя);

XP1 – соединительно внешнего управляющего устройства

(C1 – C3) = 10 мкФ;

C4 = 0,1 мкФ;

C5 = 10 нФ

Рис. 39 – Типовая схема подключения микросхемы через аналоговый синусно-косинусный дифференциальный выход

8.2.7 Схема подключения внешнего синусно-косинусного датчика

При работе со схемой подключения внешнего синусно-косинусного датчика, приведенной на Рис. 40, необходимо установить бит FR_DIS = 1.

Входной сигнал должен быть приведен к амплитуде дифференциального сигнала 1 В. Уровень синфазного сигнала 1,65 В.

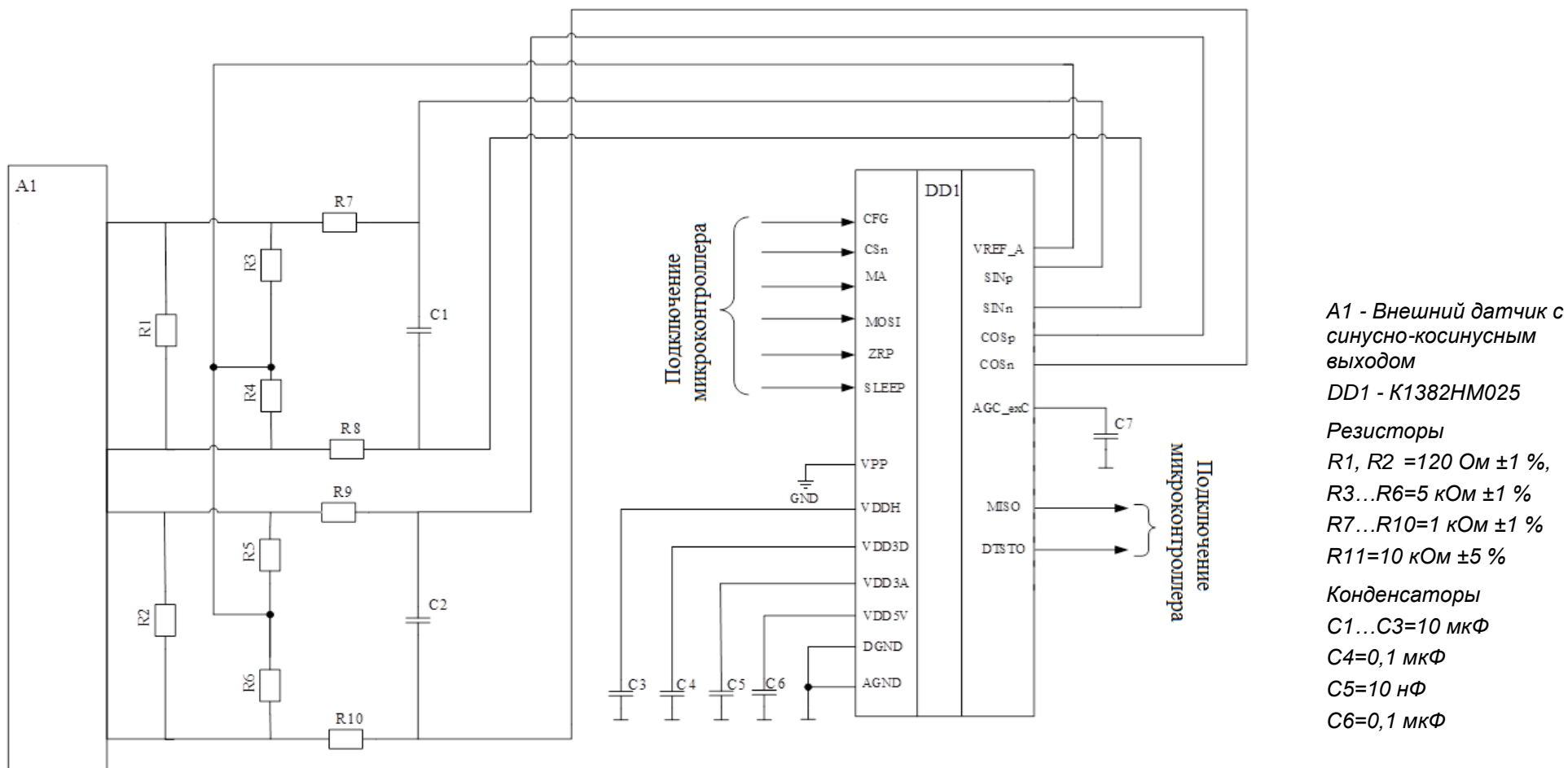


Рис. 40 Типовая схема подключения внешнего синусно-косинусного датчика

8.3 Указания по применению и эксплуатации микросхемы

Микросхема K1382HM025A выпускается в пластмассовом корпусе типа PQFN-6x6-40, микросхема 1382HM025 выпускается в металлокерамическом корпусе 5125.40-1. Микросхема предназначена для поверхностного монтажа (ручной сборки) исключающего усилия, деформирующие корпус.

Обязательно соединение монтажной площадки с обратной стороны корпуса с землей печатной платы.

Габаритные размеры и рекомендуемое посадочное место на плате приведены в Приложении Б.

Первый вывод обозначен точкой «●», которая расположена рядом с первым выводом слева на крышке корпуса. На нижней стороне основания корпуса микросхемы имеется дополнительный ключ (скошенный угол металлизированной площадки).

8.4 Настройка микросхемы

- ! Микросхема поставляется без предварительных настроек.
- ! Микросхема может быть использована по назначению только после настройки под конкретную магнитную систему.
- ! После изменения параметров магнитной системы (изменения магнитного зазора, положения оси вала) необходимо выполнить настройку микросхемы заново.

Настройка микросхемы осуществляется в соответствии с п. 6.1 при помощи программатора Б-01, Рис. 2 производства АО «ЗНТЦ» и специализированного программного обеспечения, а также с помощью иных (аналогичных) аппаратно-программных средств. Программатор подключается к USB компьютера, и обеспечивает двухсторонний обмен данными через SPI/SSI интерфейс микросхемы.



Рис. 41 - Программатора Б-01

Перед настройкой параметров микросхемы необходимо установить значения регистров в начальное состояние, согласно Табл. 10. Далее осуществлять настройку параметров в соответствии с заводской документацией и настоящей инструкцией.

8.4.1 Настройка аналогового тракта микросхемы

8.4.1.1 Настройка тактовой частоты $FREQG[4:0]$

- Подключить частотомер или осциллограф к выходам PWM (вывод 19) и GND. Установить значения регистров: CLK0_DIS=0 и CLK0_PWM=0,
- подбором значений регистра FREQG [4:0] (adr: 24) установить значение, при котором частота сигнала будет минимально превышать 500 кГц, или длительность периода не будет более 2 мкс в соответствии с условием:

$$f_{osc} = f(PWM) \cdot 16$$

8.4.1.2 Настройка уровня токов усилителей и датчиков Холла

Установить значения регистров: DAC_CTRL[2:0]=000; BTRIM[2:0]=100; TRIM[1:0]; AGC_CTRL[2:0]=011.

8.4.1.3 Установка магнитной системы

- Включить канал калибровки регистром CAL_EN=1;
- Подключить милливольтметр на выход калибровочного канала между выходом CAL_OUT (вывод 12) и выходом VREF_A (вывод 2) опорного напряжения U_{cm} .
- Совместить ось вращения магнита с геометрическим центром корпуса микросхемы.
- Перемещая плату с микросхемой относительно магнита во взаимно-перпендикулярных направлениях (SIN/COS), и вращая магнит на 360° , найти положение платы, при котором напряжение на милливольтметре будет иметь минимальную амплитуду отклонений (независимо от полярности) по всему кругу вращения магнита. Допустимая амплитуда в пределах ± 100 мВ.

Электрическая компенсация постоянной составляющей магнитного поля (SIN_OFFSET[8:0], COS_OFFSET[8:0]) допускает конструктивную несоосность в пределах $\pm 0,25$ мм.

8.4.1.4 Настройка смещения нуля дифф. усилителя синусного канала

Смещение нуля дифференциального усилителя синусного канала контролируется милливольтметром на выходах SINp и SINn относительно выхода опорного напряжения U_{REF_A} на выходе VREF_A (вывод 2), Рис. 42, при среднем значении усиления (SIN_GAIN[5:0] = 32).

Измерения выполняются при разных положениях магнита, соответствующих максимальному значению SINp и SINn.

Смещение нуля дифференциального усилителя синусного канала определяется выражением:

$$U_{SINp(max)} - U_{SINn(max)} = 0 \pm 5 \text{ мВ},$$

Если разница превышает 5 мВ, то дифференциальный перекос устраняется регистром SIN_OFFSET[8:0], по адресу 22. Регистр знаковый.

- SIN_OFFSET[6:0] – код,
- SIN_OFFSET[7] – знак,
- SIN_OFFSET[8] – масштаб.

Масштаб регулировки используется при недостаточности диапазона регулировки кода.

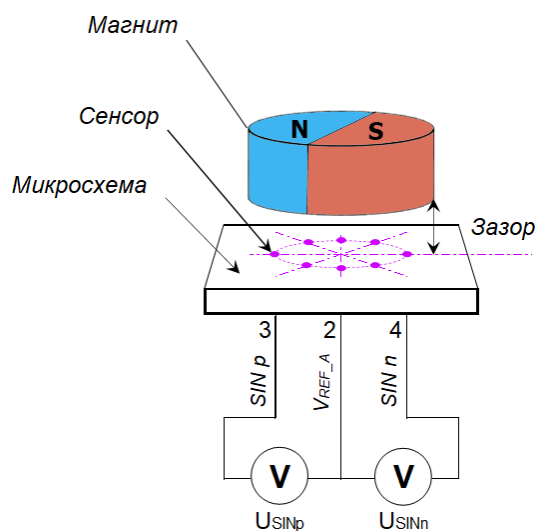


Рис. 42

8.4.1.5 Настройка усиления синусного канала

Значения напряжений U_{SINp} и U_{SINn} определяются выражениями:

$$U_{\text{SINp}} = U_{\text{REF_A}} + 0,5 \cdot U_{\text{AMP}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n / N),$$

$$U_{\text{SINn}} = U_{\text{REF_A}} - 0,5 \cdot U_{\text{AMP}} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n / N),$$

$$\text{где } U_{\text{REF_A}} = 1,65 \text{ В};$$

$$U_{\text{AMP}} = 1,0 \text{ В};$$

$$N = 4096; n = 0 \dots N.$$

Амплитуда выходного дифференциального сигнала синусного канала U_{SIN} контролируется милливольтметром между выходами SINp и SINn (выводы 3, 4), **Рис. 43**.

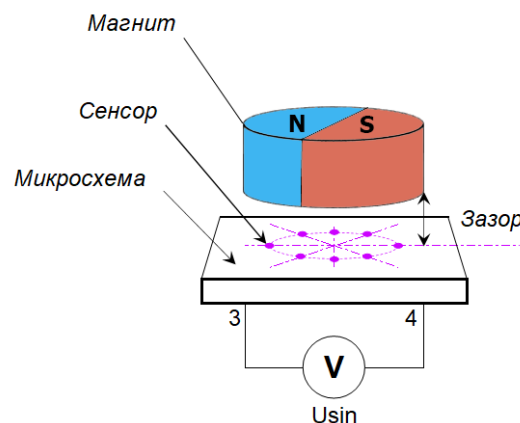


Рис. 43

При вращении вала магнитной системы максимальное и минимальное значения сигнала должны быть противоположными по знаку, и одинаковыми по модулю, не более 1 В, (**Рис. 44**).



Рис. 44 – Напряжения на выходе аналоговых каналов

Индивидуальную подстройку усиления синусного канала произвести регистром SIN_GAIN[5:0] по адресу 22. При недостаточности уровня сигнала необходимо увеличить усиление оконечных усилителей обоих каналов регистрами X2P (2...4 раз), или X2R (4...8 раз). Использование X2P и X2R одновременно - исключается.

8.4.1.6 Настройка смещения нуля дифф. усилителя косинусного канала

Смещение нуля дифференциального усилителя косинусного канала контролируется милливольтметром на выходах COSn (вывод 5) и COSp (вывод 6) относительно выхода опорного напряжения $U_{\text{REF_A}}$ на выходе VREF_A (вывод 2), при среднем значении усиления ($\text{COS_GAIN}[5:0] = 32$).

Значения напряжений U_{COSp} и U_{COSn} определяются выражениями:

$$U_{\text{COSp}} = U_{\text{REF_A}} + 0,5 \cdot U_{\text{AMP}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot n / N),$$

$$U_{\text{COSn}} = U_{\text{REF_A}} - 0,5 \cdot U_{\text{AMP}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot n / N),$$

$$\text{где } U_{\text{REF_A}} = 1,65 \text{ В}; U_{\text{AMP}} = 1,0 \text{ В}; N = 4096; n = 0 \dots N$$

Смещение нуля дифференциального усилителя косинусного канала определяется выражением:

$$U_{\text{COSp (max)}} - U_{\text{COSn (max)}} = 0 \pm 5 \text{ мВ}$$

Если разница превышает 5 мВ, то дифференциальный перекося устраняется регистром COS_OFFSET[8:0], по адресу 23. Регистр знаковый.

- COS_OFFSET[6:0] – код,
- COS_OFFSET[7] – знак,
- COS_OFFSET[8] – масштаб.

8.4.1.7 Настройка усиления косинусного канала

Амплитуда дифференциального выходного сигнала косинусного канала U_{COS} контролируется милливольтметром между выходами COSp и COSn (выводы 5 и 6).

При вращении вала магнитной системы максимальное и минимальное значения сигнала должны быть противоположными по знаку, и одинаковыми по модулю (0,5 В). При этом будет обеспечиваться условие достаточности уровня напряжённости магнитного поля (AALM=0 и AALH=0).

Индивидуальную подстройку усиления косинусного канала произвести регистром COS_GAIN[5:0] по адресу 23.

При недостаточности уровня сигнала необходимо увеличить усиление оконечных усилителей обоих каналов регистрами X2P (2...4 раз), или X2R (4...8 раз). Использование X2P и X2R одновременно - исключается.

Разбаланс отношения амплитуд дифференциальных сигналов синусного $U_A(U_{\text{SINp_SINn}})$ и косинусного $U_A(U_{\text{COSp_COSn}})$ выходов рассчитывается по формуле:

$$\Delta_A = 100 \cdot (1 - U_A(U_{\text{SINp_SINn}}) / U_A(U_{\text{COSp_COSn}})),$$

допустимое значение, не более 0,5%

После завершения настройки параметров записать данные из области регистров в соответствующие ячейки области EEPROM.



8.4.2 Настройка цифровой части микросхемы.

Настройка цифровой части микросхемы заключается в настройке параметров преобразования, а также активации и конфигурировании необходимого для использования интерфейса, согласно Раздела 0.

Некоторые регистры микросхемы используются изготовителем на этапе тестирования микросхемы в процессе производства, они не предназначены для использования потребителем.

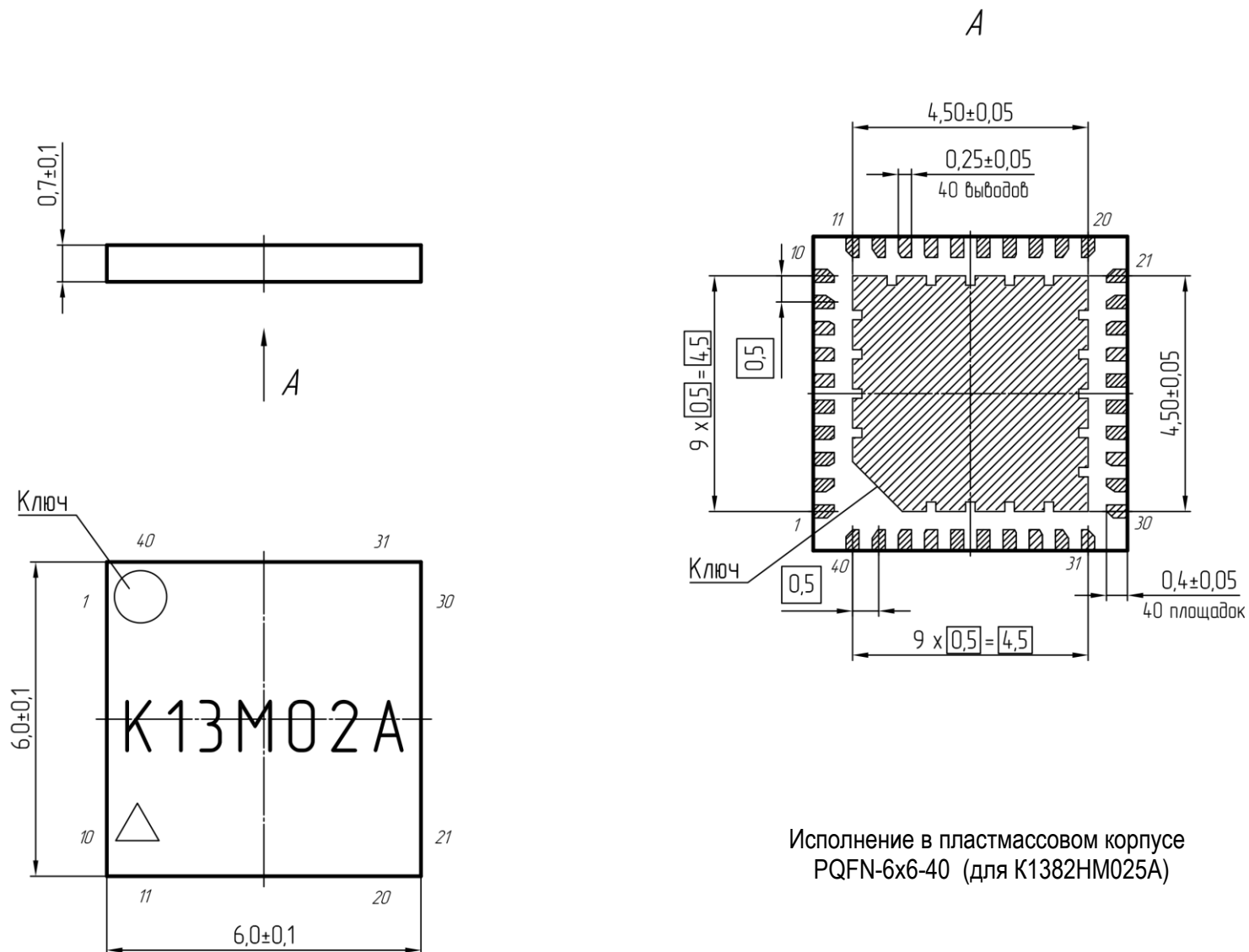
Приложение А

Условное-графическое обозначение микросхемы

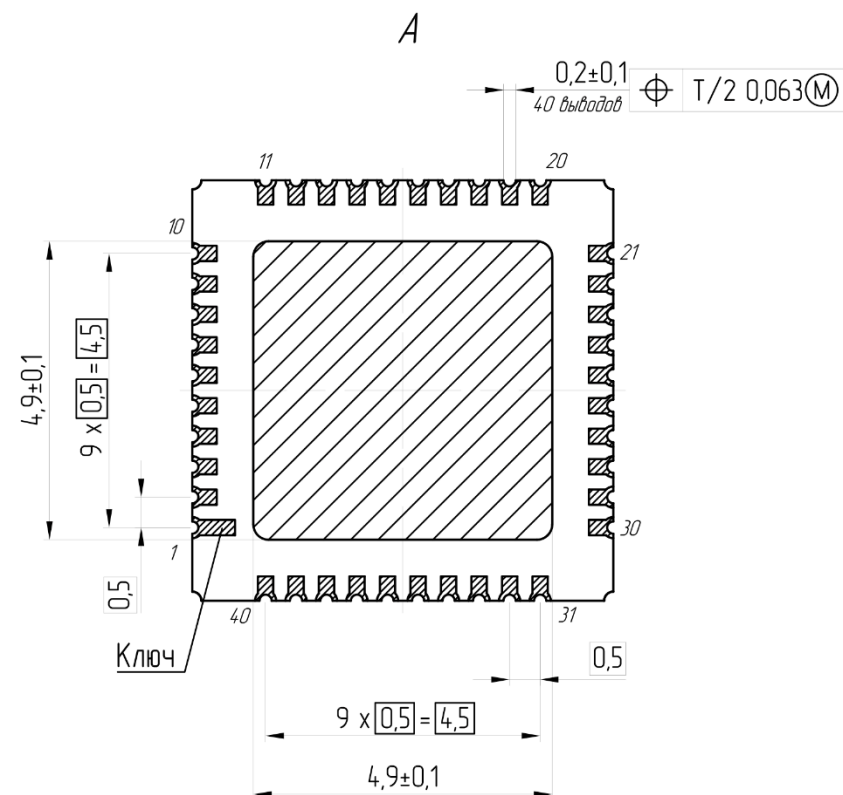
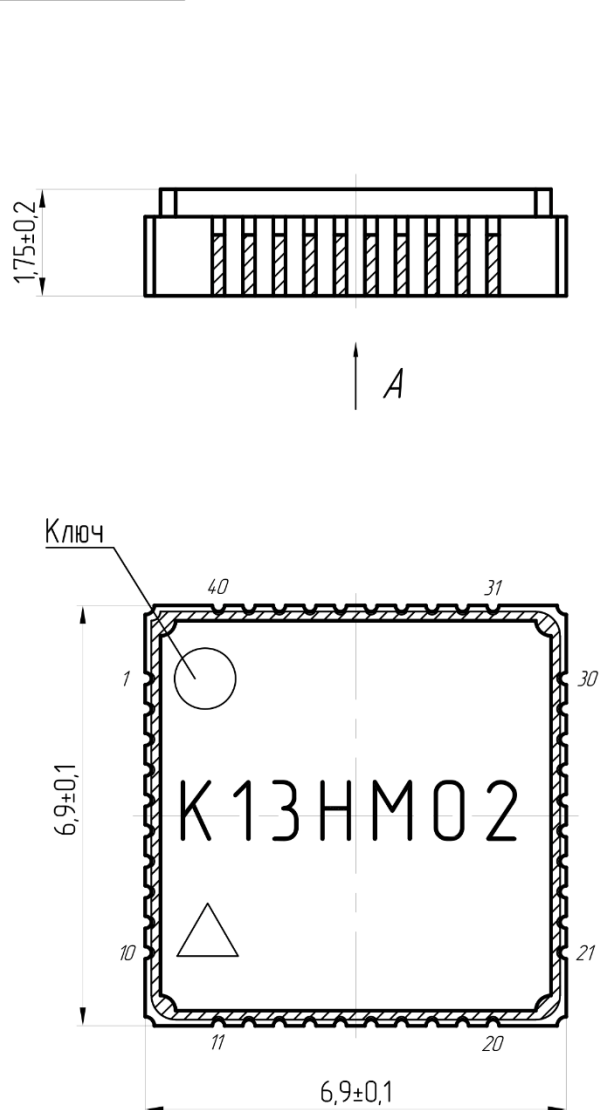
27	MOSI	SPI	MISO	29
26	MA			
25	CSn			
24	CFG			
16	CW_CCW		AOUT	13
17	ZRP		SINp	3
15	EX_RES		SINn	4
1	SLEEP		COSp	6
			COSn	5
			MFS	8
35	ECLK		CAL_OUT	12
36	SCLK		JTYPE	18
			PWM	19
28	* VPP			
37	* VDDH		VREF_A	2
38	* VDD3D		AGC_exC	9
39	* VDD3A		INDEX_MT	34
40	* VDD5V		INDEX	31
30	* DGND		B_STEP	32
7	* AGND		A_DIR	33
			W	21
			V	22
			U	23
			AAHM	10
			AALM	11
			ATSTO	14
			DTSTO	20

Приложение Б

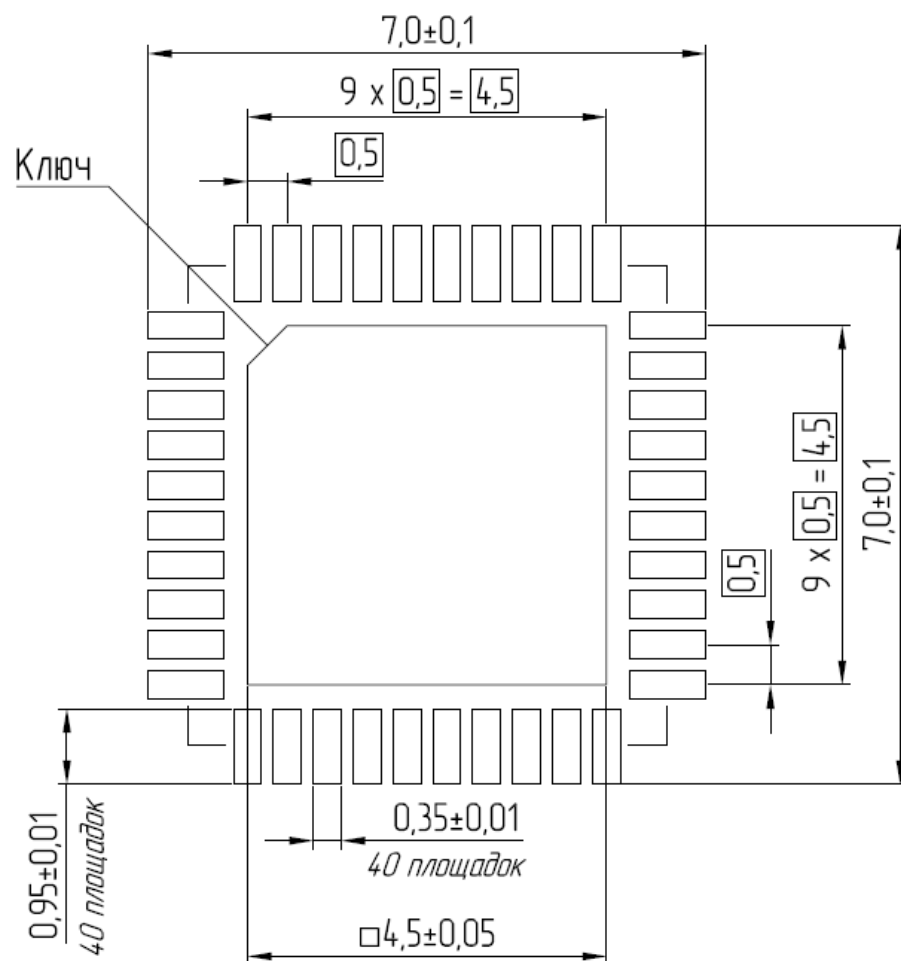
Габаритные размеры микросхемы



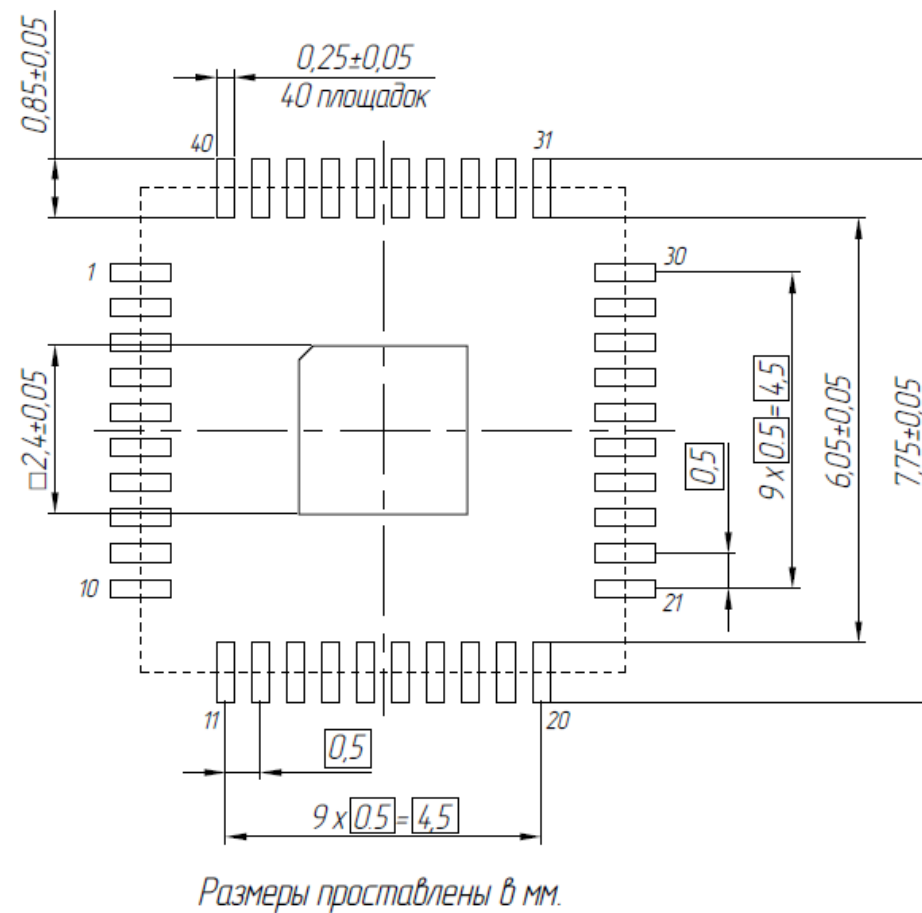
Исполнение в пластмассовом корпусе
PQFN-6x6-40 (для K1382HM025A)



Исполнение в металлокерамическом корпусе
5125.40-1 (для 1382НМ025)

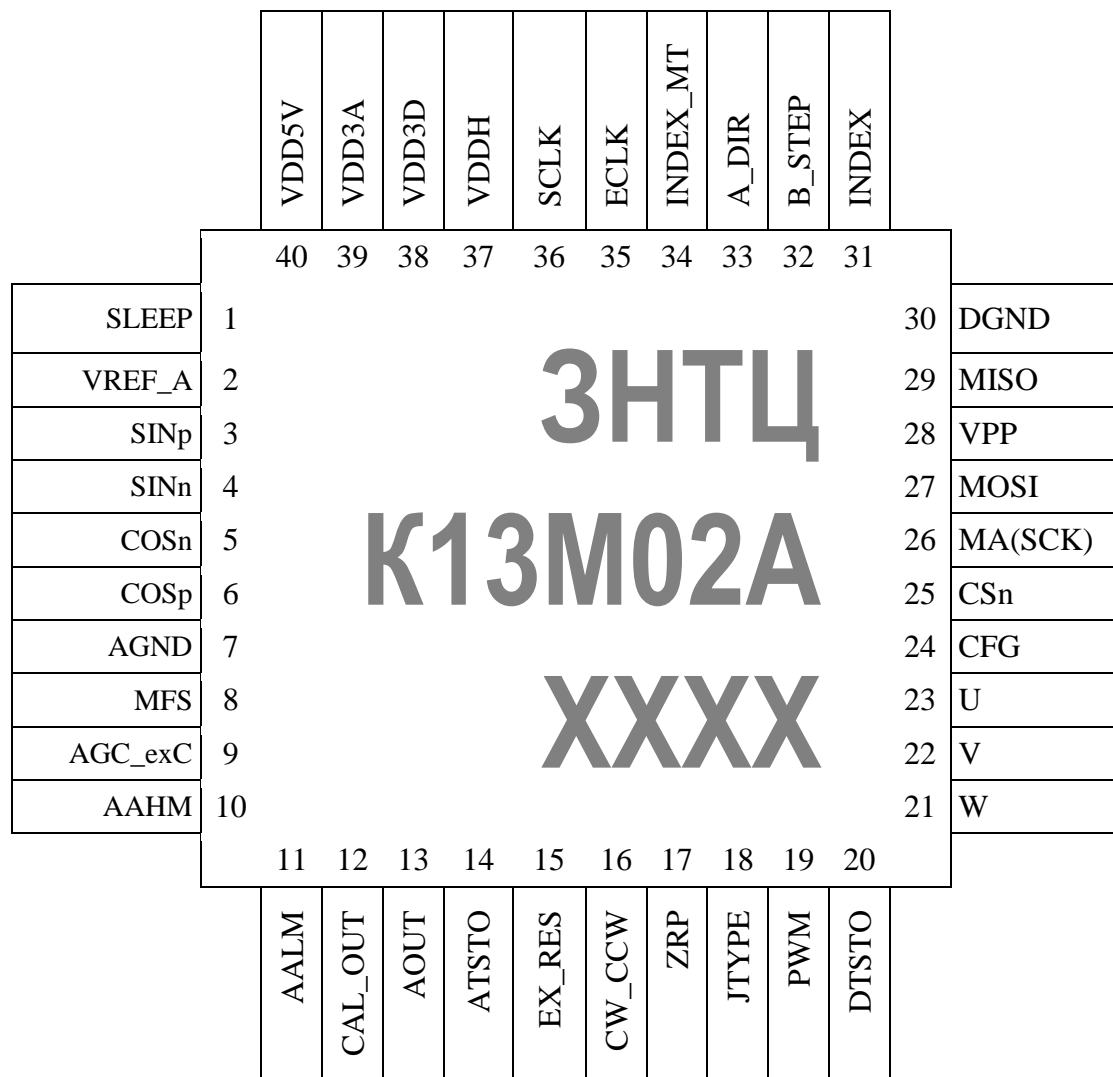


Рекомендуемое посадочное место на плате
для пластмассового корпуса PQFN-6x6-40



Рекомендуемое посадочное место на плате
для металлокерамического корпуса 5125.40-1

Приложение В
Расположение выводов микросхемы
(вид со стороны установки микросхемы)



Приложение Г

Карта распределения адресного пространства микросхемы

Addr	Регистры																	Доступ	
0	CHIP_HARD_ID[15:0] = 16'h0CF2																	RO	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
1	CHIP_ID_LOW[15:0]																		
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
2	CHIP_ID_HIGH[31:16]																		
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
3		SIN_OFFSET[8:0]								SIN_GAIN[5:0]								EEPROM 1	RW
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
4		COS_OFFSET[8:0]								COS_GAIN[5:0]									
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
5	ATST_SET[4:0]					CLKSC_DIV[1:0]		LPF_SET	CAL_EN	ADC_DIS	X2G	FREQG[4:0]							
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
6	FR_DIS	T_DIS	DAC_DIS	HRES	REVOUT_COS[7:4]				REVOUT_SIN[7:0]										
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
7		IW	LOCK_DIS	P_OFF	PI_G2x	HYST[3:0]				VCO_TRIM[3:0]				C_TRIM[2:0]					
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
8	EEPROM_LD_EN	MHE	BTRIM[2:0]			DSWP	X2R	X2O	TAH	X2P	REVOUT_COS[3:0]				TRIM[1:0]				
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
9	IF[3:0]				AOFFSET[11:0]												EEPROM 2	RW	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
10	DAC_CONT[1:0]		ZRP_ON	DIR_SW	MTURN_ON	MTURN[10:0]													
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
11	UVW_SET[3:0]				PHI_MAX[11:0]														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
12	PWM_SET[3:0]				PHI_MIN[11:0]														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
13	DTST_SET[3:0]				REFCMP[11:0]														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
14	SSI_TM[1:0]		SPI_CFG [1:0]		JTYPE_SET[11:0]														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
15	INC_DIS	MFS_IDAC	CLKO_DIS	CLKO_PWM	ATST_AO	DTST_EI	REFMT[9:0]												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
16	PWM_DIS	UVW_DIS	AB_SD	SSI_MODE	DTSTO_DIS	GREY	0D	INC_D	DAC_CTRL[2:0]				AGC_CTRL[3]	AGC_CTRL[2:0]					
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
17	LOCK_IN	LCMP	QUAD[1:0]		ANGLE_RAW[11:0]														RO
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
18	LOCK_IN	LCMP	QUAD[1:0]		ANGLE_LIM[11:0]														RO
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
19	AALM	AAHM							ACODE[7:0]									RO	
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			

Addr	Регистры																	Доступ												
20	тестовые регистры Test_reg1																Test reg1	RW												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
21	тестовые регистры Test_reg2																Test reg2	RW												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
22	SIN_OFFSET[8:0]										SIN_GAIN[5:0]						REGISTER mirror Addr 3...8	RW												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
23	COS_OFFSET[8:0]										COS_GAIN[5:0]								REGISTER mirror Addr 9...16	RW										
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
24	ATST_SET[4:0]					CLKSC_DIV[1:0]		LPF_SET	CAL_EN	ADC_DIS	X2G	FREQG[4:0]									REGISTER mirror Addr 9...16	RW								
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
25	FR_DIS	T_DIS	DAC_DIS	HRES	REVOUT_COS[7:4]					REVOUT_SIN[7:0]													REGISTER mirror Addr 9...16	RW						
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
26	IW		LOCK_DIS	P_OFF	PI_G2x	HYST[3:0]				VCO_TRIM[3:0]				C_TRIM[2:0]											REGISTER mirror Addr 9...16	RW				
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
27	EEPROM_LD_EN	MHE	BTRIM[2:0]			DSWP	X2R	X2O	TAH	X2P	REVOUT_COS[3:0]				TRIM[1:0]												REGISTER mirror Addr 9...16	RW		
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
28	IF[3:0]				AOFFSET[11:0]												REGISTER mirror Addr 9...16	RW												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
29	DAC_CONT[1:0]		ZRP_ON	DIR_SW	MTURN_ON	MTURN[9:0]													REGISTER mirror Addr 9...16	RW										
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
30	UVW_SET[3:0]				PHI_MAX[11:0]																REGISTER mirror Addr 9...16	RW								
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
31	PWM_SET[3:0]				PHI_MIN[11:0]																		REGISTER mirror Addr 9...16	RW						
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
32	DTST_SET[3:0]				REFCMP[11:0]																				REGISTER mirror Addr 9...16	RW				
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
33	SSI_TM[1:0]		SPI_CFG [1:0]			JTYPE_SET[11:0]																					REGISTER mirror Addr 9...16	RW		
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
34	INC_DIS	MFS_IDAC	CLKO_DIS	CLKO_PWM	ATST_AO	DTST_EI	REFMT[9:0]																						REGISTER mirror Addr 9...16	RW
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
35	PWM_DIS	UVW_DIS	AB_SD	SSI_MODE	DTSTO_DIS	GREY	0D	INC_D	DAC_CTRL[2:0]				AGC_CTRL[3]	AGC_CTRL[2:0]			REGISTER mirror Addr 9...16	RW												
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														
36	TEMP [8:0]																			RO										
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0														