

# Магнитный датчик угла поворота AS5030 производства austriamicrosystems

Александр ЩЕРБА  
shcherba@prosoft.ru

Статья знакомит читателя с особенностями функционирования и применения программируемых магнитных датчиков угла поворота производства компании austriamicrosystem на примере микросхемы AS5030 из обновления линейки абсолютных магнитных энкодеров. Приведены основные технические характеристики ИС, представлены функциональные и временные диаграммы, схемы подключения датчика к микроконтроллеру, а также перечислены основные факторы, влияющие на точность ИС.

Угловой энкодер — это одно из устройств, позволяющих создать прецизионную обратную связь по углу поворота (рис. 1). Требования к характеристикам энкодеров различаются в зависимости от применения, но основными из них являются точность, повторяемость, высокая разрешающая способность, быстродействие, надежность, стоимость, повышенная износостойчивость, требования к монтажу, а также стоимость. Часто при выборе датчика угла поворота для разработчика оказываются важными лишь несколько параметров, например, это должен быть недорогой износостойкий энкодер, имеющий минимальные габариты, работающий от автономного источника энергии, но в то же время обеспечивающий достаточно высокую точность измерения угла.

Этим требованиям соответствуют магнитные датчики угла поворота производства austriamicrosystems. Система измерения угла поворота представляет собой однокристалльную микросхему с размерами корпуса 5,3×6,2 мм и маленький поворотный магнит, размещенный над микросхемой (рис. 1). В силу того,

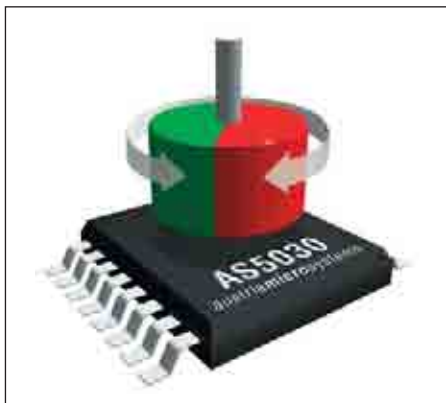


Рис. 1. Схема размещения AS5030 и магнита

что определение угла происходит бесконтактно, такая конструкция имеет повышенную надежность за счет исключения движущихся частей, и идеально подходит для применения в неблагоприятных условиях эксплуатации (вибрации, загрязнение).

Магнитный угловой энкодер AS5030 с интегрированным массивом элементов Холла размещенным на кристалле вдоль окружности диаметром 2,2 мм и схемой ЦОС оценивает магнитное поле магнита и выдает информацию о 256 положениях магнита на два 8-битных абсолютных цифровых выхода:

- синхронный последовательный интерфейс SSI;
- выход ШИМ (широтно-импульсная модуляция).

Основные технические характеристики AS5030:

- 360° бесконтактный энкодер;
- разрешение 8 бит (1,406°);
- два абсолютных цифровых выхода: SSI и ШИМ;
- программирование нулевого положения;
- скорость вращения магнита до 30 000 об/мин;
- магнитная чувствительность 20–80 мТл;
- возможность вертикальных измерений магнитного поля;
- поддержка режимов последовательного чтения ИС-датчиков, соединенных в цепочку;
- напряжение питания 5 В ±10%;
- ток потребления:
  - номинальный режим 14 мА;
  - экономичный 1,4 мА;
  - ультраэкономичный 30 мкА;
- температурный диапазон от –40 до +125 °С;
- корпус TSSOP16 (5,3×6,2 мм).

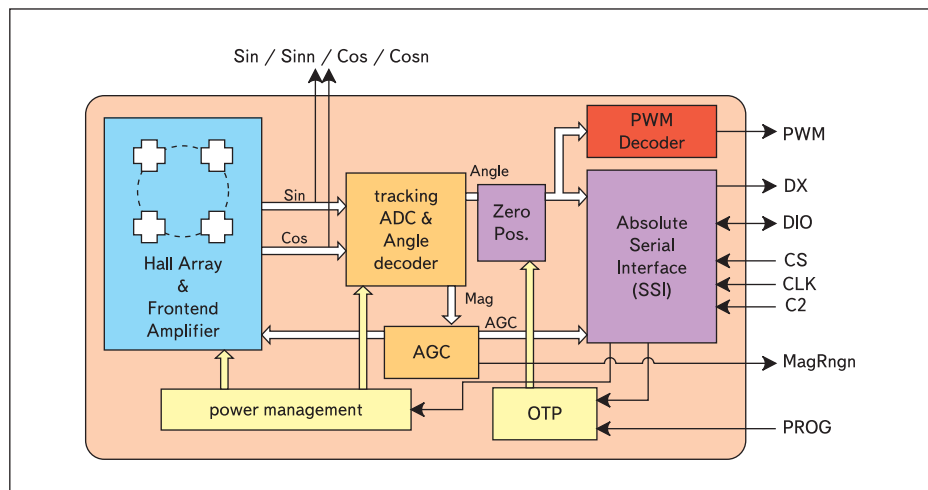


Рис. 2. Структурная схема AS5030

Hall Array — массив элементов Холла; ADC — аналогово-цифровой преобразователь; OTP — программируемый пользовательский регистр; PWM — декодер широтно-импульсной модуляции; SSI — синхронный последовательный интерфейс; AGC — цепь автоматической регулировки усиления

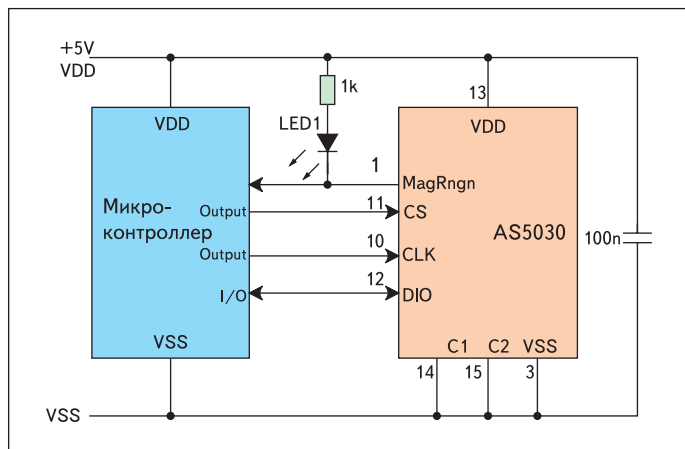


Рис. 3. Типовая схема 3-проводного подключения через SSI интерфейс

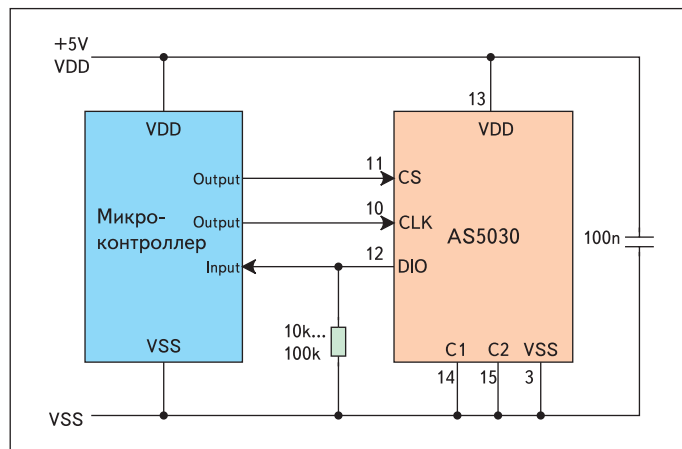


Рис. 5. Схема 3-проводного подключения в режиме «только чтение»

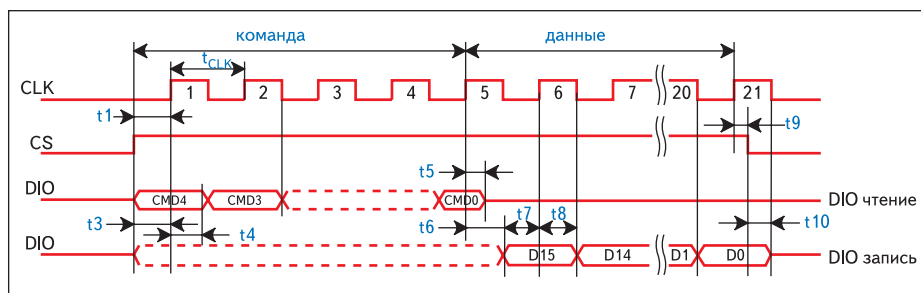


Рис. 4. Временная диаграмма передачи двоичной информации по последовательному порту  
 CMD4:CMD1 — команда; D15 — статус вывода C2; D14 — бит готовности данных;  
 D13:D8 — 6-битное значение константы цели АРУ, показывает относительную величину индукции магнитного поля;  
 D7:D0 — 8-битное значение угла поворота магнита, один шаг равен  $360^\circ / 256 = 1,406^\circ$

Характеристики рекомендуемого магнита (VomatecBMN-35H) для датчиков серии AS5000:

- материал NdFeB;
- размер  $\varnothing 6 \times 2,5$  мм,  $\pm 0,1$  мм;
- остаточная магнитная индукция  $B_r = 1,17-1,21$  Тл;
- коэрцитивная сила по индукции  $H_{cb} = 860-907$  кА/м;
- коэрцитивная сила по намагниченности  $H_{cj} > 1353$  кА/м;
- магнитная энергия  $(BH)_{max} = 263-279$  кДж/м<sup>3</sup>;
- максимальная рабочая температура 120 °С.

На рис. 2 представлена структурная схема AS5030.

Возможно несколько типовых подключений AS5030 к микроконтроллеру.

### Подключение энкодера к микроконтроллеру через интерфейс SSI

В этом подключении используется 3 шины — CS (выбор чипа), CLK (синхронизация), DIO (двунаправленный ввод/вывод данных).

Низкий уровень на выводе C2 необходим для установления 3-проводного режима работы (рис. 3).

При падении магнитного поля ниже порогового значения на выводе MagRngn установ-

ливается низкий уровень, и светодиод LED1 будет сигнализировать о невозможности обеспечить точный результат измерения угла.

Окно передачи данных открывается при установлении высокого уровня на линии CS. Считывание или запись данных на линии DIO происходит по нарастающему фронту тактового импульса на шине CLK, значение бита линии данных должно быть выставлено заблаговременно до фронта тактового импульса (рис. 4).

Передача данных по шине DIO начинается с посылки 5-битной команды на AS5030,

за ней следует чтение или запись 16-битных данных.

При соединении шины данных DIO через резистор с «землей» возможен режим работы датчика без подачи команд от микроконтроллера при этом AS5030 будет получать команду 00000BIN (чтение данных). Такой вариант подключения прост в реализации, однако в этом случае датчик не сможет работать в экономичном режиме, т. к. для этого необходима соответствующая команда от микроконтроллера.

### Подключение AS5030 к микропроцессору с использованием интерфейса передачи данных RS-485

Для подключения AS5030 к микроконтроллеру, расположенному на значительном расстоянии, можно применить двухпроводное подключение. Этот режим работы устанавливается подключением вывода C2 к шине питания. При этом сигнал CS будет автоматически генерироваться на выводе DX во время перерыва в получении импульсов синхронизации на выводе CLK. При двухпроводном подключении возможны режимы как «чтение-запись», так и «только чтение».

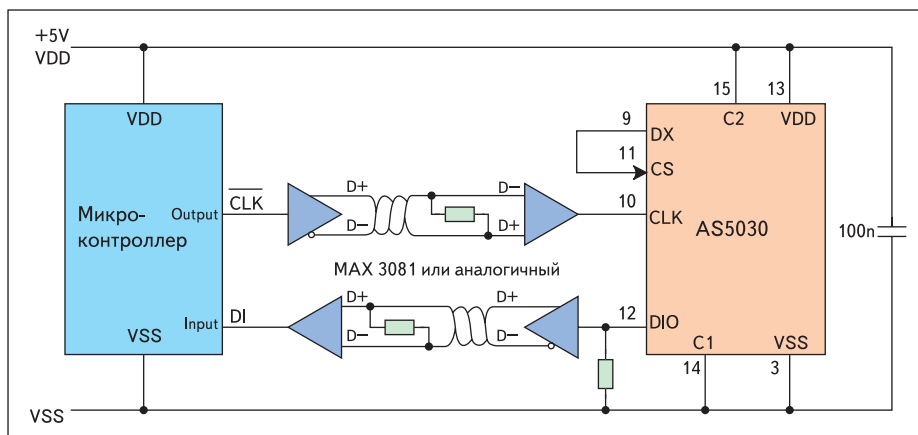


Рис. 6. Схема подключения AS5030 к микропроцессору с использованием интерфейса RS-485

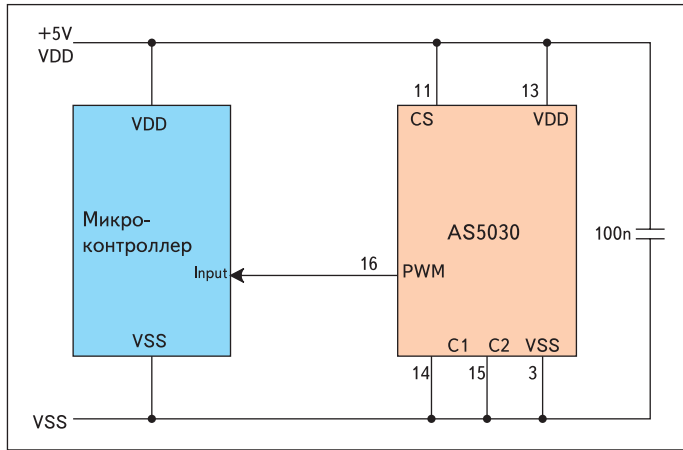


Рис. 7. Схема подключения AS5030 с использованием ШИМ-выхода

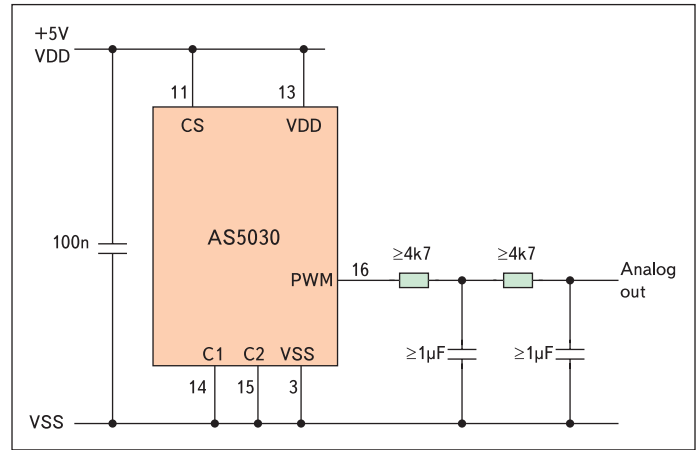


Рис. 9. Аналоговое подключение

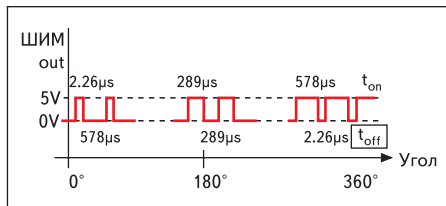


Рис. 8. Временная диаграмма ШИМ

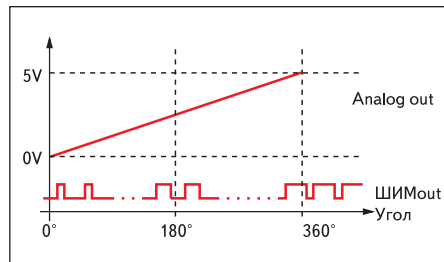


Рис. 10. Зависимость выходного напряжения на выходе фильтра от угла поворота

На рис. 6, например, представлен вариант двухпроводного подключения AS5030 к микроконтроллеру по протоколу RS-422/RS-485. По причине односторонности шины данных DIO при соединении с помощью интерфейса RS-485 работа AS5030 возможна только в режиме передачи данных «только чтение».

### Подключение AS5030 к микроконтроллеру используя ШИМ-выход

Для сокращения линий, соединяющих AS5030 с микроконтроллером, можно использовать однопроводное соединение. Информация об угле кодируется с помощью широтно-импульсной модуляции. Это подключение требует минимального количества выводов,

только одна шина используется для данных, а общее количество линий составляет три, включая шину питания (рис. 7). Режим работы в экономичном режиме невозможен, так как в этой конфигурации AS5030 не может получить команду, переводящую ее в этот режим. Невозможна и двунаправленная передача данных.

В случае получения ошибочных данных об угле поворота на выводе PWM устанавливается низкий уровень (рис. 8). Значение угла может быть рассчитано по формуле

$$\text{угол} [^\circ] = \frac{360}{256} \left[ \left( 257 \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} \right) - 1 \right]$$

### Подключение AS5030 с использованием аналогового выхода

При добавлении низкочастотного фильтра на выходе ШИМ (рис. 9) мы получим аналоговый сигнал, который будет пропорционален углу поворота (рис. 10).

### Синусно-косинусное аналоговое подключение

При подаче на вывод C1 высокого уровня становятся доступны аналоговые значения углов: Sin (вывод 5) и Cos (вывод 7), а также их инвертные значения S<sub>inv</sub> (вывод 4) и C<sub>inv</sub> (вывод 6) (рис. 11). Это подключение можно использовать для расчета угла с более высоким разрешением с помощью внешнего АЦП.

Возможны и другие варианты подключения AS5030 к микроконтроллеру, а также другие режимы работы.

В частности, AS5030 может работать в 3 режимах пониженного энергопотребления:

1. Экономичный.
2. Ультразэкономичный.
3. Циклический.

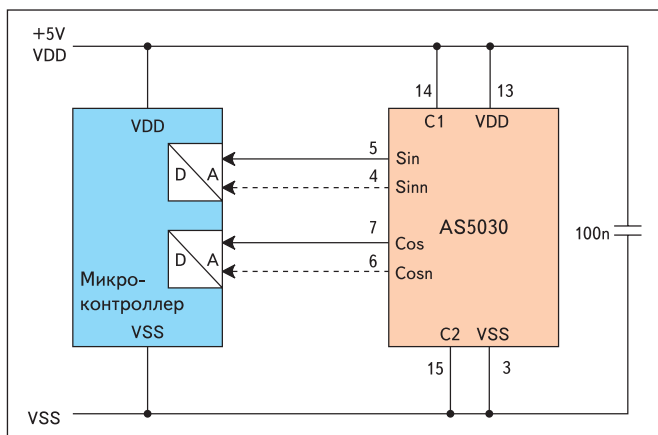


Рис. 11. Подключение AS5030 к внешнему АЦП

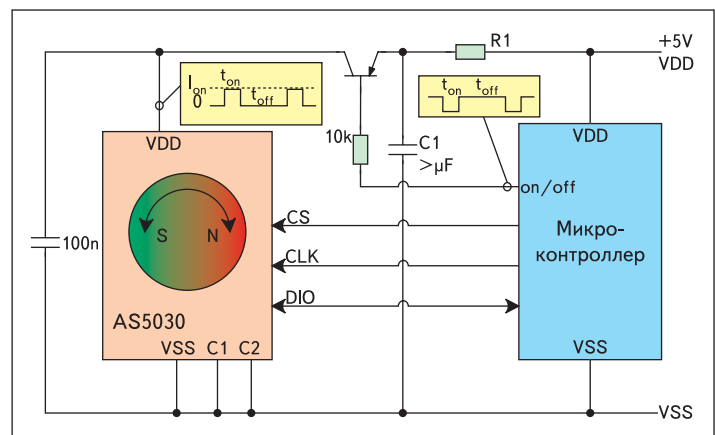


Рис. 12. Подключение AS5030 при циклическом режиме работы

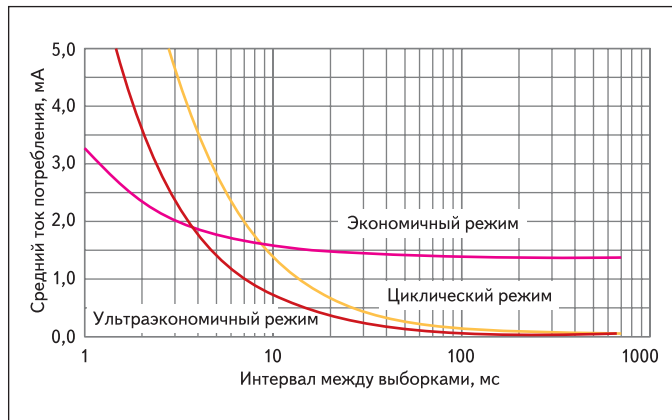


Рис. 13. Зависимость тока потребления AS5030 от частоты выборки с учетом выбранного режима работы

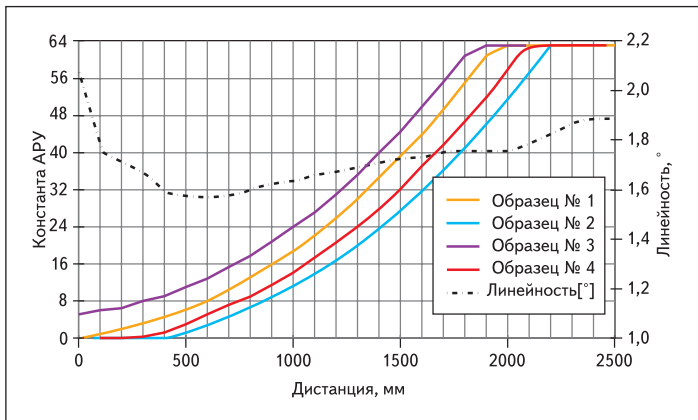


Рис. 15. Значение константы АРУ и линейность в зависимости от дистанции магнита BMN-35H до микросхемы

Таблица 1. Ток потребления и время готовности данных в зависимости от выбранного режима работы

| Режим работы      | Ток потребления | Время готовности |
|-------------------|-----------------|------------------|
| Активный          | 14 мА           | 1 мс *           |
| Экономичный       | 1,4 мА          | 0,15 мс          |
| Ультраэкономичный | 30 мкА          | 0,5 мс           |

\* — холодный старт.

Эти режимы работы позволяют отключать или «замораживать» часть схемы на кристалле в интервалах между измерениями. В экономичном и ультраэкономичном режиме не производятся измерения угла, но благодаря возможности быстрого перехода из этих режимов в активный режим работы измерение угла также может быть проведено очень быстро, после чего микросхема может быть снова переведена в экономичный режим работы (табл. 1).

В экономичный и ультраэкономичный режим работы AS5030 может быть переведена при передаче соответствующей команды, с использованием 2- или 3-проводного подключения.

При очень больших интервалах между выборками возможен циклический режим работы AS5030 (рис. 12). В этом режиме в промежутках между измерениями угла микросхема полностью обесточивается, при этом можно значительно уменьшить ток потребления.

На рис. 13 показана зависимость тока потребления датчика от интервала между измерениями угла с учетом выбранного режима работы. Из рис. 14 видно, что режим циклического питания выгоден, если в применении допускается интервал между измерениями более 400 мс.

Ток потребления может быть рассчитан по формуле:

$$I = \frac{I_{\text{activ}} \times t_{\text{on}} + I_{\text{down}} \times t_{\text{off}}}{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}},$$

где  $I_{\text{activ}}$  — ток потребления в активном режиме;  $I_{\text{down}}$  — ток потребления в экономичном режиме;  $t_{\text{on}}$  — время работы в активном

режиме;  $t_{\text{off}}$  — время работы в экономичном режиме.

Например, при использовании ультраэкономичного режима для измерения угла каждые 10 мс ( $t_{\text{on}} + t_{\text{off}}$ ) расчет тока потребления будет следующим:

$$I = \frac{14 \text{ мА} \times 0,5 \text{ мс} + 30 \text{ мкА} \times 9,5 \text{ мс}}{0,5 \text{ мс} + 9,5 \text{ мс}} = 729 \text{ мкА}.$$

### Факторы, влияющие на точность измерений угла

Скорость вращения магнита влияет на точность измерения угла, так как для получения результатов измерения необходимо время, в течение которого вращающийся магнит займет новое положение. Поэтому для минимизации погрешности, возникающей при вращении магнита, необходимо обеспечить минимальные задержки в цепи от массива элементов Холла до выходного интерфейса. Для оцифровки аналогового сигнала, посту-

Таблица 2. Значение ошибок, возникающих при вращении магнита

| Скорость, об/мин | 100    | 1000  | 10 000 |
|------------------|--------|-------|--------|
| Ошибка           | 0,0175 | 0,175 | 1,75   |

пающего от массива элементов Холла, в AS5030 установлен быстродействующий АЦП с временем выборки 1,15 мкс, однако из-за наличия низкочастотного фильтра на входе АЦП появляется дополнительная задержка 15,6 мкс, вносящая погрешность при определении угла. При увеличении скорости вращения магнита ошибки определения угла увеличиваются линейно (табл. 2).

В идеале центр магнита, диагональный центр микросхемы и ось вращения должны находиться на одной вертикальной линии, однако на практике этого добиться сложно. При отклонении  $\pm 0,25$  мм центра магнита от диагонального центра микросхемы погрешность измерения угла повлечет, с учетом ошибок квантования, составит  $\pm 1,4^\circ$  (рис. 14).

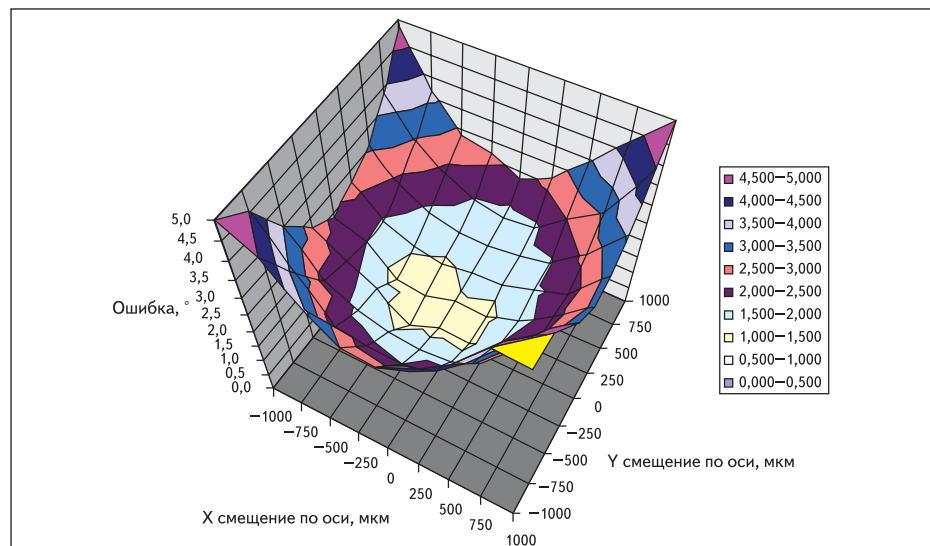


Рис. 14. Зависимость величин ошибок, возникающих при отклонении центра магнита от диагонального центра микросхемы

Расстояние магнита до корпуса микросхемы может меняться, при этом цепь автоматической регулировки усиления (АРУ) в составе ИС будет компенсировать изменение уровня сигнала на выходе массива элементов Холла.

Константа АРУ будет стремиться к нулю при уменьшении дистанции до магнита, то есть если магнит будет расположен очень близко к микросхеме или магнитное поле будет сильным (рис. 15). В случае, если магнит будет расположен далеко от микросхемы или магнитное поле будет очень слабым, константа АРУ примет значение  $63 (3F_H)$ .

На очень коротких дистанциях от 0 до 0,1 мм точность будет хуже за счет неравномерности распределения магнитного поля. На дистанциях от 2,0 до 2,5 мм, за пределами диапазона АРУ, точность будет очень высокой, и лишь слегка меньше номинальной за счет ослабления магнитного поля. Производитель рекомендует поддерживать величину магнитного поля в «зеленом» диапазоне (45–75 мТл), то есть поддерживать дистанцию в пределах от 0,5 до 1,8 мм при использовании рекомендуемого магнита (AS5000 M1), но она может быть увеличена при применении более сильного магнита.

Серия магнитных энкодеров AS5000 изначально разрабатывалась для работы в расширенном диапазоне температур окружающей среды, влияние которого позволяет устранить синусно-косинусный принцип измерения угла, но, так как в составе микросхемы

имеются аналоговые цепи, нельзя полностью игнорировать изменение температуры.

Тестовые испытания показали, что датчик обеспечивает высокую точность во всем диапазоне рабочих температур от  $-40$  до  $+125$  °С, и только вблизи экстремальных температурных точек, особенно вблизи  $-40$  °С, дополнительная погрешность измерения угла может составить  $\pm 0,4^\circ$ .

Итак, перечислим преимущества магнитных энкодеров, таких как AS5030:

- энкодер на одном кристалле;
- не требуется калибровка;
- идеально подходит для применения в неблагоприятных условиях окружающей среды;
- высокая надежность благодаря отсутствию движущихся частей;
- устойчивость к разбюстировке, изменению температуры окружающей среды или присутствию внешнего магнитного поля.

В заключение отметим, что фирма Austria-microsystems постоянно работает над повышением качества выпускаемой продукции и расширением номенклатуры, и на момент завершения обзорной статьи в ее линейке магнитных энкодеров появилась новинка. Новая микросхема AS5140H представляет собой автомобильный 10-битный магнитный угловой энкодер, полностью удовлетворяющий требованиям стандарта АЕС-Q100 и предназначенный для работы в диапазоне рабочих температур от  $-40$  до  $+150$  °С. ■