

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КЛАПАНА

**ВАЛЕРИЙ ЖИЖИН**, вед. инженер-разработчик, ЗАО «Криогенная технология»

*В статье представлен метод проектирования измерительной системы сбора данных для управления высокоэнергетическим электромагнитным клапаном. Приводится анализ применения существующих типов датчиков тока, положения и температуры, дается численная оценка внешнего магнитного поля соленоида и расчет электромагнитной совместимости. Подробно рассмотрен перспективный дистанционный магнитооптический датчик тока для силовой катушки. Представлена структурная схема измерительной системы для контроллера разрабатываемого высокоэнергетического электромагнитного клапана нового поколения.*

В настоящее время цифровые системы управления повсеместно вытесняют аналоговые. Это связано, прежде всего, с широким распространением цифровых сигнальных процессоров и многофункциональных микроконтроллеров. Их использование позволяет достаточно легко реализовать алгоритм управления практически любой сложности и подстраивать его при изменении внешних факторов. В последние годы тенденция перехода от аналоговых промышленных контроллеров к цифровым коснулась также нефтегазовой и химической промышленности. Вместе с тем, существующая промышленная техника измерений в большинстве своем основывается на аналоговых принципах и зачастую не может обеспечить требуемую точность измерения контролируемых величин в условиях современного производства.

Особенно остро это проявляется в трубопроводных комплексах, где используются мощные электромагнитные (ЭМ) клапаны. Они получают все большее распространение, т.к., в отличие от электромоторных, имеют высокое быстродействие и практически незаменимы при устранении аварийной ситуации. Вместе с тем, ЭМ-клапаны имеют следующий ряд особенностей.

– Для управления запорными задвижками используются значительные импульсные токи 5...15 А;

– Высокоиндуктивные 2...20-Гн соленоиды запасают магнитную энергию порядка 100...500 Дж и при срабатывании за счет электромагнитной индукции создают сильные электромагнитные помехи в широком спектре (до 100 кГц) на расстояниях порядка длины соленоида. Особенно это характерно для цифровых систем с ШИМ- и ЧИМ-управлением. Генерация помех происходит на фронтах и срезах сигналов управления.

– В приводе присутствуют квазистационарные магнитные поля, порождаемые намагниченностью материала сердечника.

– Происходит разогрев обмотки и материала сердечника управляющего соленоида за счет поглощения части магнитного потока (скин-эффект) и теплового действия идущего через соленоид тока.

Все перечисленные факторы необходимо учитывать при проектировании блока управления и системы сбора данных с сенсоров клапана.

## СБОР ДАННЫХ С ДАТЧИКОВ ТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ

В качестве примера проектирования измерительной системы рассмотрим систему для однокатушечного запорного ЭМ-клапана нового поколения, разрабатываемого в настоящее время. Он управляет работой отсечным затвором, регулирующим расход газа. Для данного типа устройства необходимо контролировать значение тока в соленоиде в момент старта и удержания, отслеживать начальное и конечное положение штока, связанного с клапаном (датчики верхнего и нижнего уровней), а также температуру рабочей среды. Сформулируем требования к измерительной системе, состоящей из датчиков и платы сбора данных.

1. Плата сбора данных находится на расстоянии порядка 1 м относительно корпуса электромагнитного клапана и должна быть помещена в экранированный корпус.

2. Измерительная система должна иметь помехоустойчивый канал связи с автономным блоком управления или промышленным контроллером. В качестве интерфейса был выбран стандартный промышленный интерфейс RS-232.

3. Контроль крайних положений штока необходим с точностью  $\pm 0,5$  мм.

При достижении верхнего положения стартовый сигнал постоянного тока переключается на ШИМ-сигнал удержания.

4. Измерение температуры рабочей среды в диапазоне  $-55...150^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

5. Измерение рабочего тока.

Стартовые токи в силовых катушках находятся в диапазоне 5...10 А при длительности импульса 1...5 с, а средние токи удержания затвора составляют порядка 0,5...1 А при скважности удерживающего ШИМ- или ЧИМ-сигнала равной 10. Временной диапазон и диапазон значений токов связан с различными энергетическими характеристиками электромагнитных клапанов.

Токоизмерительное устройство должно обеспечить измерение указанных величин токов с точностью не хуже 3% и временем обработки и выдачи результата в блок управления не более 1 мс. Точность измерения амплитуды тока связана с требованиями к допустимым флуктуациям магнитомеханической силы старта/удержания, а высокое быстродействие необходимо, т.к. данное устройство дополнительно выполняет функцию аварийного отключения блока управления в случае обрыва или короткого замыкания силовой катушки.

Поскольку требуется проводить измерение тока в широком диапазоне и в условиях сильных электромагнитных помех от силовой катушки, с целью повышения помехозащищенности процесса измерения и обработки сигнала были выбраны бесконтактные методы измерения тока соленоида, основанные на измерении вектора магнитной индукции в данной точке с последующим вычислением тока через катушку соленоида. Для выбора способа измерения проведем оценку величины магнитной индукции для токов старта и удержания.



## ГАРАНТИРОВАННОЕ КАЧЕСТВО И НАДЕЖНЫЙ СЕРВИС



### Москва

ООО «Клевер Электроникс»  
Тел.: +7 (495) 952-59-99  
E-mail: info@clever.ru  
www.clever.ru

### ООО «ЭСТ-СМТ»

Тел.: +7(495)722-21-53  
E-mail: info@est-smt.ru  
www.est-smt.ru

### Санкт-Петербург

ООО «Универсалприбор»  
Тел.: +7(812)334-55-66  
E-mail: pribor@pribor.ru  
mebel@pribor.ru  
www.pribor.ru

Представитель Treston в России  
Тел./Факс: +7 (812) 458-50-25  
Моб.тел. +7 (905) 269 25 86  
E-mail: elena.chernova@treston.com  
www.treston.com

### Калининград

ООО «Интертекс Электроникс»  
Тел.: +7 4012 987-147,  
+7 4012 987-150  
E-mail: seq.int@gmail.com  
www.i-ts.ru

НАДЕЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ МЕБЕЛЬ  
И СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ

**TRESTON®**  
www.treston.com

жания, а также величины индуктивных наводок на датчик поля. Проведенные предварительные измерения показали, что длительность фронта индуктивного выброса на срезе сигнала управления составляют примерно 100 мкс, что соответствует длине волны излучения ~30000 м, что намного больше размера соленоида, и его эффективность как излучающей антенны близка к нулю. Поэтому в расчетах электромагнитных помех будем учитывать только индуктивную составляющую.

### ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

В данном электромагнитном приводе используется соленоид со следующими характеристиками: относительная магнитная проницаемость сердечника  $\mu = 2000$ ; ток в режиме старта составляет  $I_s = 10$  А, а в режиме удержания требуется средний ток  $I_r = 1$  А. Количество витков обмотки  $N = 4500$  при внешнем и внутреннем радиусах намотки  $A_1 = 62$  мм и  $A_2 = 32$  мм, соответственно. Высота сердечника соленоида  $L_m = 115$  мм. Сигнал управления в режиме удержания представляет собой ШИМ импульсную последовательность с периодом 100 мс и скважностью 10 (может изменяться системой автоматического регулирования для стабилизации тока удержания  $I_f$  в процессе

работы). Длительность сигнала старта составляет около 2 с.

1. Оценка информационной составляющей магнитного поля (ИМП).

ИМП состоит из двух составляющих: собственного поля обмотки; поля намагниченного ферромагнитного сердечника.

В [1] предложена оригинальная методика расчета магнитного поля соленоида через магнитные моменты его составляющих. При этом принимается, что наибольший результирующий магнитный момент ЭМ-клапана возникает после срабатывания, когда якорь и сердечник образуют единую ферромагнитную конструкцию.

Магнитный момент обмотки создается током, протекающим в ее горизонтальных витках, и определяется формулой:

$$M_j = \pi \cdot I_s \cdot N \cdot (A_1^2 + A_1 \cdot A_2 + A_2^2) / 3, \text{ А} \cdot \text{м}^2. \quad (1)$$

Магнитный момент эквивалентного ферромагнитного сердечника рассчитывается по формуле:

$$M_0 = V \cdot H / [K_r + 1 / (\mu - 1)], \text{ А} \cdot \text{м}^2, \quad (2)$$

где  $V$  — объем сердечника,  $\text{м}^3$ ;  $H$  — напряженность магнитного поля обмотки в сердечнике,  $\text{А/м}$ ;  $K_r$  — коэффициент размагничивания сердечника по оси  $Z$ .

Величины  $H$  и  $K_r$  вычисляются по довольно сложным и громоздким формулам и, чтобы не утомлять читателей, мы приводим только конечный результат. Для выбранных характеристик клапана  $H = 2,7 \cdot (10E + 5) \text{ А/м}$ ,  $K_r = 1,2$ .

С учетом одинакового направления векторов  $M_j$  и  $M_0$  результирующий магнитный момент определяется выражением:

$$M_A = M_j + M_0. \quad (3)$$

Исходя из особенностей конструкции корпуса привода и для достижения максимальной чувствительности датчика магнитного поля, следует расположить сенсорный элемент параллельно оси соленоида в плоскости  $Z$ , как показано на рисунке 1. Величина  $R$  составляет порядка 20 мм, поэтому при оценке величин магнитного поля токов и индуктивных наводок можно ограничиться расчетом  $z$ -компоненты вектора магнитной индукции, создаваемой силовой катушкой:

$$B_z = 100 M_A \cdot (3z^2 - r^2) / r^3 \cdot r^2, \text{ Тл}, \quad (4)$$

$$\text{где } r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \text{ м.}$$

Коэффициент 100 учитывает геометрию соленоида, рассеяние магнитного потока вне соленоида, относительную магнитную проницаемость

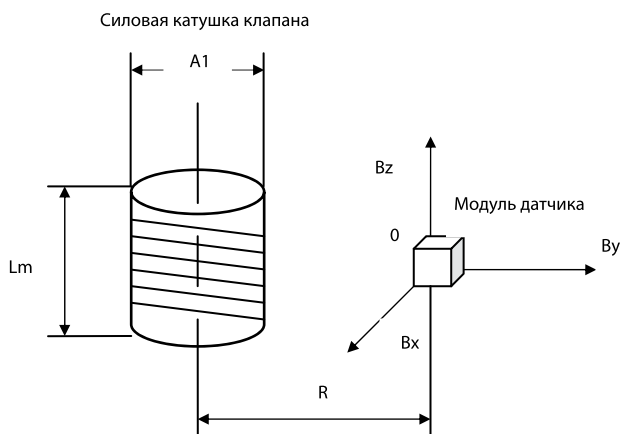


Рис. 1. Датчик располагается параллельно оси соленоида в плоскости Z

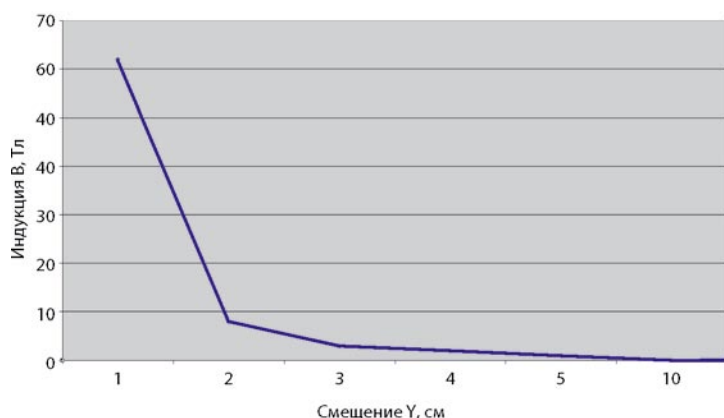


Рис. 2а. Зависимость  $B_z$  от расстояния вдоль оси y

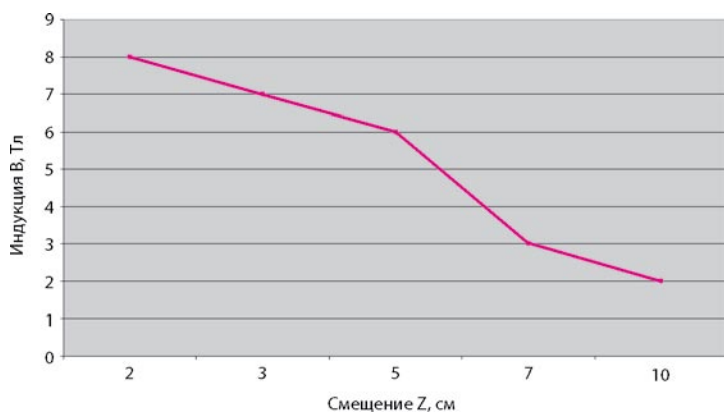


Рис. 2б. Зависимость  $B_z$  смещения по оси z

сердечника и магнитную постоянную, Тл·м/А. При  $y = R = 0,2$  м и рассчитанным  $M_A = 626$  А·м<sup>2</sup> получим  $B_z = 7,9$  Тл в импульсе длительностью 10 мс.

Следует заметить, что погрешности данного метода расчета магнитной индукции ЭМ-клапанов могут составлять порядка 15—30%, причем большие из них относятся к случаю, когда корпус клапана изготовлен из материалов с относительно высокой магнитной проницаемостью.

Установленные элементы внутри ЭМ-клапана подвержены влиянию вибрационных воздействий, возникающих при его работе, в результате чего с течением времени происходит линейное смещение элементов, которое может достигать

1—5 мм. Этот фактор особенно важно учитывать при размещении бесконтактного датчика тока. В противном случае, в процессе эксплуатации изделия придется производить перекалибровку датчика тока, что далеко не всегда возможно.

На графике (см. рис. 2а) показана зависимость  $B_z$  от расстояния вдоль y. Зависимость  $B_z$  от расстояния x аналогична. С помощью графика на рисунке 2б можно оценить погрешность позиционирования датчика в вертикальном направлении z.

2. Оценка величины ЭДС электромагнитной индукции.

Как известно из теории электромагнитной индукции, величина наводимой ЭДС определяется производной маг-

нитного потока по времени. В случае импульсного токового сигнала с длительностью фронта  $\Delta t$ , который создает магнитный поток  $\Delta\Phi = r_t \cdot B_z \cdot S$  перпендикулярно плате датчика площадью S, ЭДС можно оценить по формуле:

$$U = \Delta\Phi/\Delta t, \text{ В.} \quad (5)$$

Коэффициент  $r_t \sim 0,8$  учитывает рассеяние магнитного потока в корпусе ЭМ-клапана. При  $\Delta t = 100$  мкс и  $S = 1$  см<sup>2</sup> напряжение  $U \sim 6$  В. Эта величина сравнима с пороговым напряжением пробоя для 3- и 5-В КМОП-схем, и соответствующие наведенные токовые импульсы могут привести к выходу из строя или временному нарушению работы интегральных датчиков.

### ВЫБОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

#### 1. Датчики положения

Исходя из полученных оценок электромагнитных помех и квазистационарных магнитных полей, представляется целесообразным использовать традиционные магнитоконтактные сенсоры (герконы) и дифференциальные датчики положения (LVDT). В данном случае оптимальным вариантом по отношению к показателю функциональность/стоимость является применение экранированных щелевых оптронов с апертурой оптической системы 0,25 мм. Оптроны имеют выход с открытым коллектором и подключаются через предохранитель F1 к помехоподавляющей схеме, состоящей из триггера Шмидта на микросхеме 74НС14, на вход которого включен пассивный Г-образный ФНЧ LC-фильтр и защитные быстродействующие супрессоры серии 1.5KE6V8 фирмы Transil (см. рис. 3). Назначение супрессоров — поглощать энергию кондуктивных импульсных помех, которые возникают на шлейфе связи «оптрон — плата сбора данных». Выходы триггеров Шмидта подключаются к цифровым портам микроконтроллера.

#### 2. Температурный датчик

В проектируемой измерительной системе было решено использовать недорогой интегральный полупроводниковый датчик температуры AST 1100 с линейным выходом. Датчик соответствует указанным требованиям и имеет передаточную характеристику

$$U = E/5 \cdot (1,375 + 0,0225T), \quad (6)$$

где U — выходное напряжение, В; E — напряжение питания микросхемы, В; T — измеряемая температура, °С.

Выход AD 1100 подключается через активный повторитель и RC-цепь ко входу 12-разрядного АЦП микроконтроллера (МК) платы сбора данных.

Постоянная времени RC-цепи была выбрана равной 100 мс. Ко входу температурного канала также подключаются защитные диоды 1.5KE6V8, а для повышения помехозащищенности в МК программно реализован цифровой КИХ-фильтр Баттерворта четвертого порядка с частотой среза 10 Гц.

### 3. Датчики тока

В настоящее время в промышленности и технике физического эксперимента получили широкое распространение методы дистанционного измерения постоянных или медленно меняющихся токов, использующие эффект Холла [2], и на основе анизотропного магниторезистивного эффекта (АМР) в тонких пленках [2]. Вместе с тем, благодаря развитию и удешевлению элементной базы оптоэлектроники, появлению дешевого и технологичного в монтаже пластикового (POF) оптоволокна получают распространение и оптические методы измерений, в частности, магнитооптические датчики [3].

1. В бесконтактных датчиках Холла используется кольцевой магнитопровод с зазором, в котором установлен магниточувствительный элемент. Токоведущая жила проходит через центр кольца. При этом все поле сосредоточено в зазоре, и внешнее влияние практически отсутствует. Этот принцип измерения тока реализован в интегральных датчиках компании Allegro Microsystems серии ACS 7xx. Эти компоненты включают в себя электронную схему обработки сигнала и схему термокомпенсации. Интегральный сенсор ACS712ELC-015 позволяет измерять токи в диапазоне 0...15 А в частотной полосе 0—50 кГц, имеет линейную передаточную характеристику с коэффициентом нелинейности  $\pm 1,5\%$ , что в принципе позволяет его использовать для решения нашей задачи. Передаточная функция датчика ACS712ELC-015 определяется выражением:

$$U = 0,11 + 2,5, \quad (7)$$

где  $U$  — напряжение на выходе микросхемы,  $V$ ;  $I$  — измеряемый ток,  $A$ .

2. Работа анизотропных магниторезистивных датчиков основана на способности длинной пермаллоевой пленки (NiFe) изменять свое сопротивление в зависимости от ориентации протекающего через нее тока и направления вектора намагниченности. Внешнее магнитное поле поворачивает вектор намагниченности пленки на угол  $\theta$ . Это значение зависит от направления и величины поля.

Сопротивление пленки определяется выражением:

$$R = R_0 + \Delta R \cdot \cos 2\theta. \quad (8)$$

Величина  $\Delta R$  составляет  $\sim 10\%$  от  $R_0$ .

АМР-датчики строятся по мостовой схеме, которая подключается к внешнему измерительному усилителю. Датчики этого типа обладают высокой чувствительностью и линейностью.

Предварительные эксперименты, проведенные с одноосевым АМР-датчиком НМС 1001 фирмы Honeywell, показали, что при измерении стартового тока (сильное магнитное поле) происходит насыщение чувствительного элемента, и для измерения более слабых полей (режим удержания) датчик необходимо сбрасывать с помощью дополнительной схемы формирования импульса размагничивания, размещаемой рядом с датчиком. Кроме того, в непосредственной близости (20...50 мм) от микросхемы сенсора должен располагаться и измерительный усилитель, т.к. величина дифференциального сигнала с моста датчика мала ( $\sim 1...10$  мВ). Плата со схемой обработки и усиления сигнала должна быть тщательно экранирована.

Таким образом, учитывая необходимость в электронных схемах в составе или вблизи рассмотренных датчиков и рассчитанную выше величину ЭДС наводки электромагнитной индукции, сравнимую с напряжением пробоя

Committed to excellence

**Telit** wireless solutions

Миниатюризация платформ.  
Встроенный модуль.  
**Rutronik и Telit**

Выполненный в инновационном BGA-корпусе, имеющим размеры всего лишь 22x22 мм, модуль является на сегодняшний момент самым миниатюрным встроенным модулем GSM / GPRS в мире. Независимо от того, где используется модуль: в POS-терминалах, мобильных компьютерах, системах обработки данных или системах слежения, - в каждом случае сверхкомпактный GE865 - QUAD предоставляет мобильный доступ в Интернет.

**RUTRONIK**  
EUROPE

Consult | Components | Logistics | Support  
Tel: +7 495 7 86 28 02      www.rutronik.com

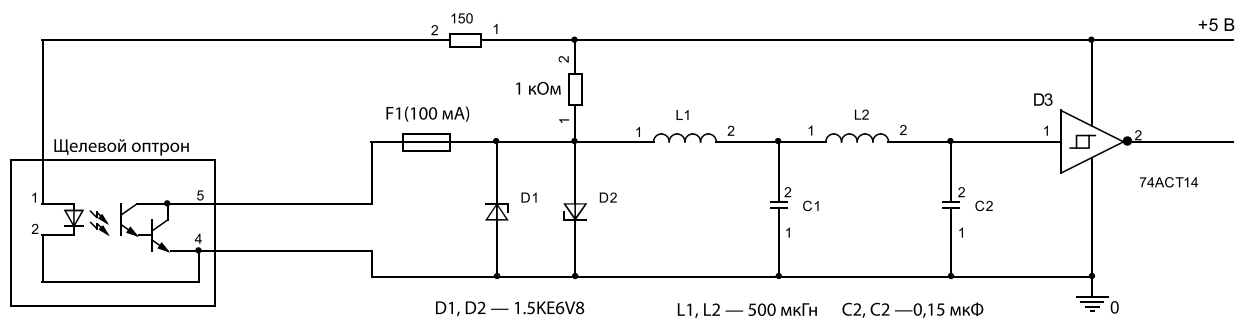


Рис. 3. Электронная схема защиты датчика положения

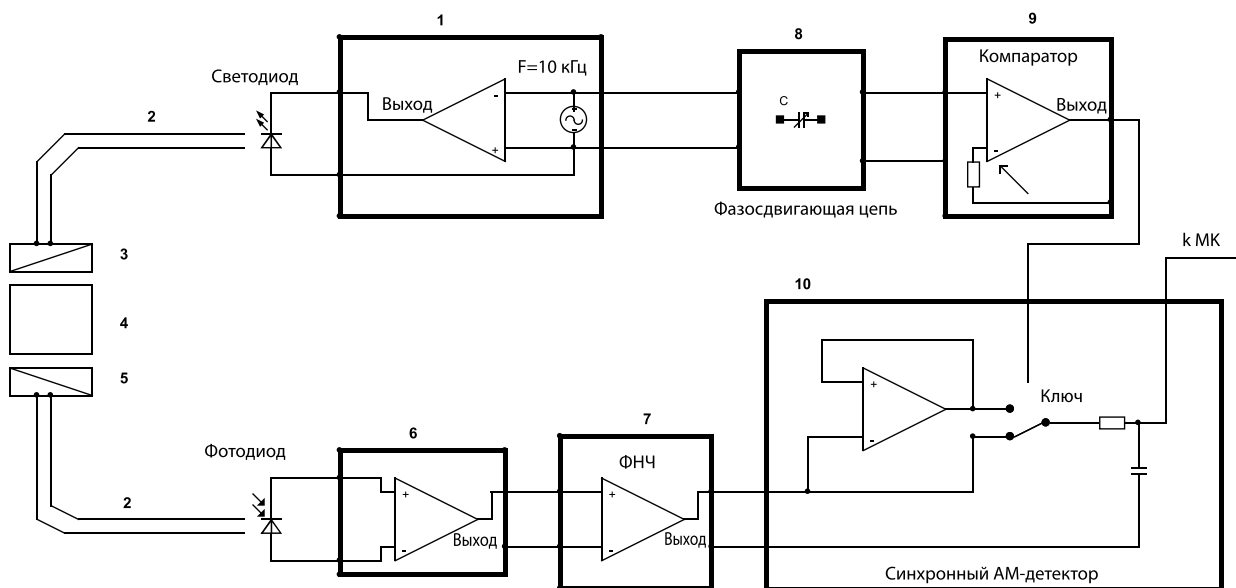


Рис. 4. Функциональная схема магнитооптического измерителя тока

КМОП-элементов (более 5 В для 3-В элементной базы и более 7 В для 5-В компонентов), приходится значительно усложнять конструкцию датчика тока соленоида.

3). В качестве альтернативы можно использовать магнитооптический метод измерения тока. Данный метод — сравнительно новый способ бесконтактного относительного измерения, основанный на эффекте Фарадея, поэтому подробно рассмотрим его физический принцип и способ реализации токового сенсора.

Магнитооптический эффект заключается в том, что при распространении линейно поляризованного света через вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света. Это открытие М. Фарадея в 1845 г. явилось первым доказательством наличия прямой связи между магнетизмом и светом.

Проходящее через среду линейно поляризованное излучение всегда может быть формально представлено как суперпозиция двух поляризованных по правому и левому кругу волн с противоположным направлением вращения. Намагниченное оптически прозрачное вещество в общем случае нельзя охарактеризовать единым показателем пре-

ломления  $n$ . Показатели преломления  $n_+$  и  $n_-$  для излучения правой и левой круговых поляризаций становятся различными (магнитная анизотропия). Различие  $n_+$  и  $n_-$  приводит к тому, что поляризованные по правому и левому кругу компоненты излучения распространяются в среде с различными фазовыми скоростями, приобретая разность фаз, которая линейно зависит от оптической длины пути. В результате на выходе из вещества плоскость поляризации монохроматической световой волны поворачивается на угол  $\varphi$ . При этом знак угла поворота плоскости поляризации не зависит от направления распространения света (по вектору магнитной индукции или против него). Существенно лишь, чтобы вектор индукции был параллелен направлению распространения оптической волны.

Угол фарадеевского вращения  $\varphi$  при магнитной индукции  $B$  и длине оптического пути в веществе  $L$  выражается как

$$\varphi = V \cdot B \cdot L, \text{ радиан}, \quad (9)$$

где  $V$  — постоянная Верде, учитывающая магнитооптическую активность для данного вещества. Величина постоянной Верде зависит от химического состава вещества, температуры и рабочей длины волны.

Учитывая, как показано выше, что между величиной магнитной индукции  $B$  и протекающим в обмотке соленоида током существует однозначная связь, магнитооптический датчик можно использовать для измерения тока.

На практике угол поворота плоскости поляризации удобнее всего регистрировать через изменение интенсивности световой волны. Для этого активный магнитооптический кристалл помещают между поляризатором и анализатором, расположенными под углом  $45^\circ$ . Тогда отношение мощности световой волны на выходе ко входу определится соотношением

$$P_{\text{out}}/P_{\text{in}} = \exp(-\alpha L) \cdot (1 + \sin\varphi) \quad (10),$$

где  $\alpha$  — коэффициент поглощения световой волны в кристалле.

В технике физического эксперимента для измерения магнитных полей получили распространение магнитооптические монокристаллы железиттриевого граната. Датчики на их основе обладают чувствительностью порядка 15% от изменения интенсивности света на каждые 100 Э магнитной индукции в частотной полосе  $\sim 15$  кГц. Колебания амплитуды выходного сигнала составляет около 2% при темпе-

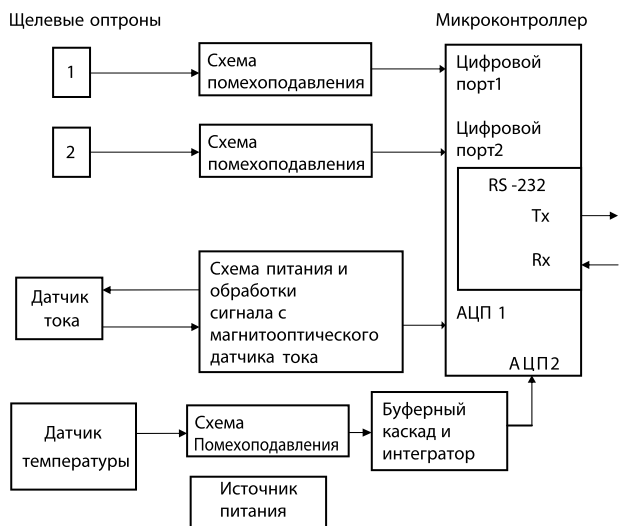


Рис. 5. Структурная схема измерительной системы

ратуре  $-30\text{--}120^\circ\text{C}$ . Рабочая длина световой волны составляет  $\lambda = 1,3\text{ мкм}$ .

Данные характеристики вполне удовлетворяют требованиям измерения тока в электромагнитных клапанах. Кроме того, фарадеевские датчики не содержат полупроводниковых компонентов и поэтому нечувствительны к электромагнитным помехам.

Таким образом, эти факторы позволяют использовать магнитооптический датчик с волокном в качестве линии передачи для измерения тока силовой катушки в электромагнитном клапане.

#### МАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОКА

Функциональная схема магнитооптического измерителя тока показана на рисунке 4.

Для повышения помехозащищенности измеритель работает на гармонической поднесущей 10 кГц. Светодиодный излучатель 1 с выходной стабилизированной оптической мощностью каждые 0,5 с (скважность 2) излучает некогерентные световые волны, которые по волоконно-оптическому кабелю 2 подводятся к магнитооптическому датчику 4, заключенному между поляризатором 3 и анализатором 5. Промодулированное за счет фарадеевского вращения световое поле поступает в фотоприемник 6 на основе малошумящего p-i-n фотодиода, где происходит его преобразование в электрические колебания. Полученный АМ-сигнал выделяется полосовым фильтром 7 и поступает на вход гомодинного синхронного детектора 10, выход которого связан с портом АЦП микроконтроллера. Опорный сигнал формируется из задающего гармонического колебания с помощью цепи фазовращателя 8 и компаратора 9. Фазовращатель обеспечивает синхронизацию опорного и детектируемого сигналов с учетом фазовых задержек в элементах тракта. Применение синхронного детектора позволяет повысить отношение сигнал/шум в тракте измерения примерно на 6 дБ.

Программное обеспечение микроконтроллера рассчитывает ток по предварительно снятой для каждой силовой катушки зависимости  $P_{\text{out}}/P_{\text{in}} = f(I)$  с учетом температурных коэффициентов.

В настоящее время идет макетирование магнитооптического датчика тока для нового электромагнитного клапана.

#### ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Измерительная система состоит из платы сбора данных, к которой подключен модуль питания и датчики. На плате сбора данных размещен управляющий микроконтроллер, стабилизированные источники питания датчиков, схемы предварительной обработки сигналов со щелевых оптронов,

температурного датчика, оптоэлектронный модуль датчика тока и схема преобразования UART — RS-232, соединенная с блоком управления. Сигналы с датчиков обрабатываются 12-разрядными АЦП микроконтроллера.

Структурная схема измерительной системы изображена на рисунке 5.

Алгоритм работы измерительной системы состоит в следующем.

- Программное обеспечение (ПО) микроконтроллера осуществляет цифровую КИХ-фильтрацию четвертого порядка (реализованы фильтры Баттерворта) для сигналов с температурного и магнитооптического датчиков. Полоса среза фильтров — 10 Гц по уровню  $-3\text{ дБ}$ . 12-разрядные АЦП работают со скоростью 100 выб./с.

- Сигналы со щелевых оптронов нижнего и верхнего положения штока привода вызывают прерывание основной программы и передачу по RS-232 соответствующих маркеров в блок управления.

- ПО микроконтроллера осуществляет опрос токового и температурного датчиков с частотой 1 Гц. Данные также передаются в блок управления.

- В случае возникновения аварийной ситуации в блок управления передается сигнал аварии с помощью резкого изменения температуры или тока в силовой катушке.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие техники высокоэнергетических электромагнитных клапанов, появление потребности нефтеперерабатывающей и химической промышленности в запорно-регулируемых клапанах с линейным электромагнитным управлением, находящихся в настоящее время на стадии разработки, а также ужесточение требований к отказоустойчивости трубопроводной арматуры диктуют необходимость в создании высокоточных многоканальных помехоустойчивых измерительных систем. Поэтому основное направление развития подобных систем должно быть связано с широким внедрением методов цифровой обработки сигналов и применением датчиков на новых физических принципах — нанофотоники, МЭМС-технологии, магнитных наноматериалов. В 2010 г. отдельные виды этих изделий стали появляться на российском рынке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Щучинский. Проектирование и выбор электромагнитных приводов для трубопроводной арматуры. ЦНИТИХИМНЕФТЕМАШ. 1991 г. с. 49—55.
2. А. Борисов. Современные АМР-датчики. Компоненты и технологии. №7. 2006 г.
3. А. Полищук. Некоторые применения интегральных датчиков Холла. Компоненты и технологии. №7. 2006 г.
4. Т. Окуси и др. Волоконно-оптические датчики. Пер. с японского. Энергоатомиздат. 1991 г. с. 157—161.

**Pascall**  
ELECTRONICS LIMITED

- Ограничители
- Миниатюрные частотные дискриминаторы
- Цифровые фазовые детекторы
- Квадратурные схемы
- Твердотельные СВЧ переключатели
- АС/DC, DC/DC преобразователи

Официальный дистрибьютор

УНИКАЛЬНЫЕ  
РАДИОКОМПОНЕНТЫ  
ВЕДУЩИХ ФИРМ МИРА

**РАДИОКОМП**®

111024, Москва,  
Авиамоторная ул., д. 8-  
Телефон: (495) 957-77-45;  
(495) 361-09-04  
Факс: (495) 925-10-64  
sales@radiocomp.net  
www.radiocomp.net