

Богдан В. Копей*, **Валерий В. Лопатин****,
Станислав Беднаж***, **И.Б. Копей***

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ДАТЧИКОВ В МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

В Ивано-Франковском национальном техническом университете нефти и газа, Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины и в Горно-металлургической Академии (Краков, Польша) впервые научно обоснованы параметры, структура и область эффективного применения мобильных информационно-измерительных систем (МИИСК) для оценки технического состояния штанговых скважинных насосных установок [1, 2]. Дальнейшее развитие МИИСК характеризуется непрерывным совершенствованием элементной и приборной базы, обусловленных использованием широкого спектра дискретных приборов и датчиков. Как говорилось ранее [3], ввод в персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ), т.е. схема нормализации и восприятия полезных цифровых сигналов (интерфейс), требует обоснованного учета всей специфики аппаратуры МИИСК. Однако дискретный (цифровой) полезный сигнал в отличие от аналогового имеет свои особенности и специфику, что обуславливает применение других структурно-функциональных и схемных решений. Рациональный и обоснованный выбор цифрового интерфейса возможен при комплексном исследовании вопросов, связанных с развитием и применением МИИСК в конкретных промысловых условиях и в соответствии с технологическим процессом. К сожалению, данный вопрос в литературе отражен не достаточно удовлетворительно.

Известно, что в ПЭВМ обработка производится при помощи ключевых схем, имеющих в процессе работы два состояния: включено (единица) и выключено (ноль). Промежуточные значения проводимостей, характерные для аналоговых схем, в цифровых схемах не используется, поскольку присвоение определенных цифровых

* ИФНТУНГ, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15, тел. (03422)40534,

** ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН України, г. Днепропетровск, ул.Симферопольская, 2-а

*** AGH Научно-технический университет, г. Краков

значений величинам проводимости транзистора практически невозможно из-за проблем связанных с обеспечением надежности работы, стандартизации и совместимости электронных схем. Сопряжение между цифровыми сигналами датчика (кнопки, геркона и т. д.) и интерфейса, необходимые для управления (регистрации) в МИИСК, заключается в изменении уровня сигнала и (или) их преобразовании. Типовыми цифровыми сигналами, представляющими состояние объекта, на шахте имеют вид уровня напряжения или положения контакта кнопки (выключателя, геркона). Воспринимающая цифровая схема МИИСК рассчитана на напряжения TTL уровня. Поэтому сигнал, представленный состоянием контакта кнопки, преобразовывают последовательным с контактом включением источника напряжения и резистора ограничения тока, а полезный токовый цифровой сигнал преобразуют шунтирующим резистором. Понятно, что цифровой интерфейс представляет собой пороговое устройство с функцией компаратора. Поэтому первой задачей сопряжения является согласование пороговых уровней интерфейса МИИСК и датчика. Проблема заключается в большом разнообразии используемых базовых схем и электронных логических элементов. Известно, что даже самые распространенные логические семейства TTL и КМОП имеют множество разновидностей и даже внутри семейства не взаимозаменяемы. Существуют специализированные микросхемы, содержащие в обозначении «ПУ» разработанные для согласования логических элементов КМОП с микросхемами TTL. Однако при подаче напряжения питания на выходе или соединении выходов с общим проводом (типовое схематическое решение в электронной технике), их выходные токи могут достигать до 100 миллиампер. Естественно, что такие импульсные токи создают значительные помехи в цепи питания датчиков МИИСК и сказывается отрицательно на надежность МИИСК.

Важный класс датчиков МИИСК – кнопка включения МИИСК (ручного ввода) и контактные датчики положения (например, типа ДП.6С2 и ДПУ1-100). Многолетний опыт использования МИИСК на промыслах и в лабораториях выявил, что наиболее устойчивая работа, особенно в ШСНУ, обеспечивается, когда при разомкнутом контакте (наихудшие условия с точки зрения наводок) помехоустойчивость интерфейса не менее трех вольт. Большой гибкостью для эксплуатации и уменьшенным требованием, которое необходимо обеспечить в МИИСК обладает дифференциальная входная схема (когда каждый вход имеет определенное напряжение относительно земли). Однако ее реализация требует использования трансформаторной развязки и связана с существенным усложнением интерфейса, что снижает общую надежность МИИСК и увеличивает ее стоимость. Кроме того, трансформаторная развязка интерфейса требует, как правило, своего незаземленного (изолированного) источника питания. Основная и типичная проблема, связанная с использованием вышеперечисленных датчиков – дребезг контактов (многократного неконтролируемого замыкания и размыкания контактов при переключении). Поэтому непосредственная подача полезного сигнала на вход МИИСК не всегда допустима. Так как в МИИСК используется напряжение, превышающее максимальный уровень, то необходимо предусмотреть защиту интерфейса от повреждения, которое может быть вызвано этим относительно высоким уровнем напряжения.

Здесь возможны два решения:

- 1) Интерфейс имеет несколько входов с различными резисторными делителями для ограничения напряжения. Недостаток решения – сложность монтажа, поскольку в этом случае входной сигнал каждой точки (источника полезного сигнала) должен быть определен до монтажа или для каждой точки должен предусматриваться многополюсник из резисторов, выбор которых производится во время монтажа МИИСК. В условиях промысла это требование выполнить было бы затруднительно.
- 2) Интерфейс использует ограничитель напряжения, состоящий из диодов, включенных между входом и источником напряжения, величина которого равна уровню ограничения. Для защиты диодов от большого результирующего тока включены токоограничивающие резисторы. Это решение и реализовано в МИИСК «МАК-1».

Вторая задача, стоящая перед создателем интерфейса – защита от помех. Естественно, что входные цифровые сигналы могут подвергаться искажениям, которые вызываются источниками помех [4], а также связанные со сложным технологическим процессом. Для минимизации помех в интерфейсах обычно применяется фильтрация нижних частот. Недостатком использования фильтров является переменное время задержки обнаружения полезного сигнала, которое зависит от соотношения амплитуды входного сигнала и ширины пороговой области интерфейса. Если интерфейс работает как ограничитель сигнала, фильтрация сигнала исключает переменную задержку. Импульс на выходе имеет постоянную амплитуду, и задержка остается постоянной во всем диапазоне входного сигнала.

Полезные цифровые сигналы, так же как и аналоговые, подвержены воздействию аддитивной помехи. Это иногда приводит к смещению порогового уровня интерфейса. Если аддитивная помеха представляет собой напряжение переменного тока или переходного процесса в датчике, изменение порогового напряжения может привести к ложному срабатыванию в МИИСК. Проблема аддитивных помех в цифровых интерфейсах решается, как это показано в [3, 4]. По нашим наблюдениям после замыкания контактов (переключателей, герконов и кнопок) дребезг продолжается $0,5 \div 1,5$ миллисекунд, хотя в литературе приводится, что он возможен до 50 миллисекунд [5, 6]. На наш взгляд для сигнала типа замыкание контакта достаточная фильтрация дребезга обеспечивается постоянной времени $2,0 \div 5,0$ миллисекунд. С постоянной времени интерфейса связан выбор ее полного сопротивления. Поэтому импеданс обычно выбирают $50 \div 75$ Ом. В схемах датчиков МИИСК использующих логические уровни и электронные ключи постоянная времени $0,05 \div 0,10$ миллисекунд.

Технических решений для устранения дребезга контактов множество но, как правило, они применимы для двухпозиционных однополюсных переключателей которые в датчиках МИИСК и устройствах нефтяного оборудования не применяются. Экспериментально авторами было установлено, что наиболее приемлемым решением является использование триггера Шмитта семейства КМОП с замедляющей RC – цепочкой на входе. Найдено, что вполне достаточно иметь постоянную времени $0,05 \div 0,10$ миллисекунд. Схема может содержать также положительную обратную связь, создающую гистерезис в области порога, что гарантирует быструю смену логического состояния

на выходе. Установлено, что большое входное сопротивление микросхем структуры КМОП позволяет в некоторых случаях обходиться без фильтров в схемах подавления дребезга. К сожалению, попытки применить эту схему на элементах TTL дали отрицательный результат, поскольку для управления их входами необходимо обеспечить малое входное сопротивление. Недостаток предлагаемой схемы – возможность наводки напряжения помех на проводник, соединяющий кнопку с входом микросхемы, поэтому проводник необходимо экранировать. Пороговые напряжения включения $U_{вкл}$ и выключения $U_{выкл}$ такого триггера находят по формулам:

$$U_{вкл} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot U_{пор} \quad (1)$$

$$U_{выкл} = U_{пор} - \frac{R_1}{R_2} \cdot (U_{num} - U_{пор}) \quad (2)$$

где $U_{пор}$ – пороговое напряжение, назначенное нами три вольта.

Так как оно близко к половине напряжению питания 5 вольт, то формулы принимают вид:

$$U_{вкл} = \frac{U_{num}}{2} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (3)$$

$$U_{выкл} = \frac{U_{num}}{2} \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (4)$$

Ширина петли гистерезиса $U_{гист}$ равна разности напряжений включения и выключения, не зависит от $U_{пор}$ и определяется выражением

$$U_{гист} = U_{num} \frac{R_1}{R_2} \quad (5)$$

Температурная стабильность предлагаемой схемы довольно высокая, изменение параметров менее 1% при изменении температуры $\pm 10^\circ\text{C}$, что полностью соответствует промышленным условиям эксплуатации МИИСК.

Третьей задачей проектирования является контроль ошибок цифрового интерфейса. Поскольку в информации, связанной с функцией интерфейса МИИСК, каждый двоичный разряд имеет самостоятельное значение (каждый связан с дискретным датчиком или кнопкой) и любые комбинации имеют свой конкретный смысл, типовый контроль на основе правильности кода невозможен. Поэтому для проверки правильности передачи данных требуется создавать свои проверки, например по здравому смыслу. Это необходимо еще и потому, что механические конечные выключатели и кнопки все чаще заменяются в МИИСК датчиками и приборами с релейно-электронными усилителями, например инфракрасный датчик подсчета ярусов. Выполняя привязку таких датчиков в целях контроля положения, приходится идти на снижение эксплуатационной надежности МИИСК в связи с невозможностью обеспечить

в конструкции и схеме датчика самоконтроль его исправной работы. Под самоконтролем мы подразумеваем непрерывный автоматический контроль по предотвращению ложных и недостоверных измерений МИИСК на промысле из-за подачи датчиком неправильных выходных сигналов. Указываемая в паспорте датчика вероятность безотказной работы определяется из формального поэлементного расчета, не дает полного представления о надежности работы датчика. С нашей точки зрения, необходимо определять также информационную надежность использования исправного цифрового датчика МИИСК для всех возможных вариантов его применения.

С этой целью предлагается рассматривать выходной сигнал как функцию двух аргументов: положения контролируемого объекта и напряжения питания датчика. При этом имеется в виду, что датчик питается от другого источника питания по сравнению с цифровым интерфейсом МИИСК. Пользуясь известными приемами математической логики, можно определить вид функциональной зависимости между «входными» (испытывающими воздействие) и «выходными» (проявляющими результат) элементами МИИСК, т.е. между упомянутыми аргументами и функцией. По электрическому схемному решению и характеру связи между входным и выходным переменным датчик МИИСК относится к комбинированным цифровым устройствам. Его совокупность полезных сигналов на входе в каждый конкретный момент времени полностью определяется входным сигналом, действующим в этот момент времени на его входе. Если входные и выходные функции в n – такте опроса МИИСК обозначить как Z^n и Y^n то связь между ними полностью определится выражением

$$Y^n = \beta(Z^n) \quad (6)$$

где β – знак выполняемого датчиком преобразования.

Из этого выражения видно, что подобный датчик позволяет реализовать логическое преобразование любого вида, однако не обладает памятью. Поэтому цифровой интерфейс МИИСК должен выполнять эту функцию. Значение выходных переменных цифрового интерфейса МИИСК Y^n в n – такте опроса МИИСК должны определяться не только значением входной переменной Z^n , но и зависеть от внутреннего состояния интерфейса C^n . В свою очередь, внутреннее состояние интерфейса C^n зависит от значения переменной, действовавшей на входе в предыдущем такте опроса МИИСК. Функционирование такого интерфейса можно записать в виде

$$Y^n = \tau(Z^n, C^n); \quad C^n = F(Z^{n-1}, C^{n-1}) \quad (7)$$

где Z^{n-1}, C^{n-1} – соответственно набор входных переменных и внутренних состояний интерфейса в предыдущий такт опроса МИИСК.

Указанная зависимость должна определяться не только значением входных переменных составляется в виде протокола. Понятно, что из протокола можно определить, какая работа датчика является оптимальной для МИИСК. Такой протокол и контроль необходимо проводить, как на замыкание, так и размыкание. Применительно к датчикам положения предлагаемый контроль может характеризоваться всего четырьмя разновидностями протоколов и их формулами.

Хочется отметить, что такой контроль не исключает вероятность повреждения датчика и его фидера в процессе измерения, срабатывание датчика по ложным и вспомогательным сигналам, дополнительным нагрузкам и т.д., засыпанием пылью и песком или заливанием его водой, запотеванием либо налипанием постороннего материала на рабочую поверхность. Поэтому в МИИСК желательно дублирование, например, датчиков положения. При этом дублирующий датчик должен работать на другом принципе и физическом эффекте.

В целях повышения плотности записи цифровых датчиков МИИСК на магнитный носитель бортовой ПЭВМ авторами предлагается следующий способ.

Трансформировать цифровой сигнал в виде двухчастотного аналогового сигнала, причем при частотной манипуляции выбирают отношение несущих частот обратно-пропорциональным относительно их амплитуд. Логический сигнал «0» (ноль) – синусоидальным сигналом частотой f_1 и амплитудой A_1 , а логическую «1» (единицу) – сигналом частотой f_2 и амплитудой A_2 . Причем для реализации способа выдерживается соотношение

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (8)$$

Выполнение этого условия позволяет получить минимальный спектр записываемого цифрового сигнала, что является существенным преимуществом перед ранее известными способами записи, т.к. позволяет на любой аналоговый полезный сигнал записывать не только полезную измерительную информацию, но и несколько цифровых, которые необходимы в конкретном промышленном эксперименте. Известно, что для записи полезно аналогового сигнала достаточен интервал частот до 100 Гц. Мы используем это обстоятельство для одновременной записи цифрового сигнала, воспользовавшись частотами, например, выше 100 Гц. При дешифровке (обработке) цифровой и полезный аналоговый сигнал разделяют аналоговыми или цифровыми фильтрами с соответствующими амплитудно-частотными характеристиками. Проникающие в полезный измерительный сигнал помехи будут существенно меньше погрешности аналогового сигнала из-за незначительного числа и малой амплитуды гармоник, которые образуются при реализации данного способа и эффективной фильтрации.

Предлагаемый способ существенно расширяет эксплуатационные возможности МИИСК т.к. практически снимает ограничение на число подключаемых цифровых датчиков. Известно, что цифровой интерфейс DAC rad-71-A/B МИИСК типа «МАК-1» и «МАК-2» ограничен всего четырьмя входными сигналами.

ВЫВОДЫ

- 1) При проектировании цифрового интерфейса МИИСК с использованием датчиков и приборов, имеющих релейно-электронные усилители, следует проверять информативную надежность их использования. Для промышленного использования могут быть рекомендованы только те датчики, у которых исполнительная логическая формула протокола совпадает с ее оптимальной формулой.

- 2) Цифровой интерфейс МИИСК имеет свою «промысловую» специфику, поскольку условия его эксплуатации на ШСНУ существенно отличается от рекомендуемых заводами-изготовителями комплектующих МИИСК. Поэтому, при модернизации МИИСК возникает необходимость проверки, а иногда требуется даже исследования в промышленных условиях.
- 3) Предлагается более рационально использовать имеющиеся в ДАС rad-71-А/В восемь аналоговых каналов за счет их уплотнения дополнительными цифровыми.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Копей Б.В., Андрушко М.Р., Ільїн С.Р., Лопатін В.В., Копей І.Б.: *Оптимізація технічного обслуговування і ремонту СШНУ за допомогою комп'ютерних баз даних та діагностичних комп'ютерних комплексів*. Матеріали науково-практичної конфер. „Проблеми і перспективи наук.-техн. прогресу АТ „Укрнафта” в умовах ринку. Ів.-Франківськ, 1996, с. 192–193
- [2] Копей Б.В., Лопатін В.В., Копей І.Б.: *Вимірювальні засоби контролю та експрес-діагностики обладнання нафтогазового машинобудування*. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, №1(6), 2003, с. 129–133
- [3] Lopatin V.V., Kopey B.V.: *Adequate interface in mobile information-measuring systems of mine elevating complexes and mine streaks*. Transactions of 3rd International Conference “Special methods of deposit utilization”, Ostrava, October 6–7, 2005, pp. 409–413
- [4] Копей Б.В., Лопатин В.В., Копей И.Б.: *Помехоустойчивость низкопотенциальных электрических измерений в штанговых скважинных насосных установках и горных выработках. Методы и средства технической диагностики*. Сб. научных статей. Вып. XXIII / Марийский гос. ун-т.- Йошкар-Ола, 2006, с. 127–132
- [5] Sheingold D.H.: *Analog – digital conversion handbook*. Norwood, Mass.: Analog Devices. ed. 1972, 306
- [6] Stearns S.D.: *Digital signal analysis*. Rochelle Park, N.J.: Hayden Book Co. 1978, 234