

# Твердотельный акселерометр в схеме управления производительностью обогатительного оборудования

Евгений Владимиров, Татьяна Романовская,  
Борис Соколов (Санкт-Петербург)

При обогащении сыпучего материала (например, алмазосодержащей породы) требуется обеспечение постоянной скорости потока, поступающего на обработку. Одним из способов регулирования и стабилизации производительности является использование устройств вибрационной подачи – вибрационных питателей (ВП). Для цифрового управления и стабилизации производительности ВП разработана схема на основе твердотельного акселерометра MMA2200W (Motorola) – датчика виброскорости, установленного на ВП, – и микропроцессора.

Управление производительностью обогатительной машины с вибрационным питателем сводится к изменению тока катушки вибратора. В то же

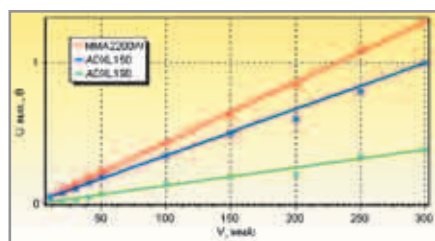


Рис. 1. Измерительные характеристики ADXL150, ADXL190 и MMA2200

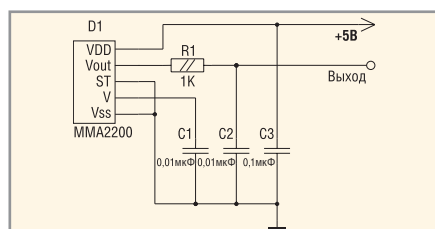


Рис. 2. Схема датчика



Рис. 3. Вибропитатель с установленным датчиком

время на этот ток влияет ряд возмущающих факторов – изменения питающего напряжения и резонансной частоты, которая зависит от количества породы на питающем лотке.

Для обеспечения стабильной производительности наиболее перспективна схема с обратной связью по амплитуде вибрации. Поиск недорогого и надёжного датчика вибрации показал [1], что датчиками вибрации могут служить твердотельные акселерометры. Эти микросхемы были созданы более 10 лет назад для систем управления подушками безопасности автомобиля [2] – т.е. именно для измерения ускорения. Но затем выяснилось, что на их основе можно создавать датчики угла наклона и скорости. Наиболее известны акселерометры т.н. поверхностного типа [1] фирм Analog Devices и Motorola.

Нами были исследованы датчики двух типов: семейства ADXL фирмы Analog Devices и MMA2200W фирмы Motorola. Отсылая читателя за подробным описанием принципа действия и внутренней структуры акселерометров поверхностного типа к соответствующим фирменным материалам [3, 4], отметим, что микросхемы ADXL чувствительны как к динамическому, так и к статическому ускорению (например, ускорению силы тяжести), а микросхемы MMA2200W к статическому ускорению нечувствительны. По-видимому,

именно этим фактором определяется лучшая температурная стабильность измерительной характеристики MMA2200W.

Для разработки регулятора были сняты измерительные характеристики датчиков, построенных на микросхемах ADXL150, ADXL190 и MMA2200W. Эти характеристики (см. рис. 1) представляют собой зависимость выходного напряжения датчика от виброскорости. Для контроля измерительных характеристик использовался прибор ВИНИТ-1-01 [5]. Широкий диапазон скоростей определяется поставленной задачей: обеспечить универсальность регулятора для машин с различной производительностью.

Схема самого датчика предельно проста (см. рис. 2) и содержит минимальный набор компонентов: кроме самой микросхемы датчика MMA2200W, в него входят фильтрующие конденсаторы цепи питания C1 и C3, а также фильтр выходного сигнала R1C2. Датчик представляет собой залитую компаундом конструкцию, которая крепится на лоток ВП таким образом, чтобы направление вибрации было перпендикулярно плоскости микросхемы (см. рис. 3).

С основной схемой регулятора, которая находится в системе управления, отстоящей от обогатительной машины на 25...30 м, датчик связан через согласующий усилитель. Коэффициент его усиления выбирается в зависимости от диапазона скоростей вибрации, определяемого производительностью обогатительной машины таким образом, чтобы выходной сигнал находился в пределах 0...3 В.

Вибропитатель – электромеханическая колебательная система, обладающая резонансными свойствами. Управление током катушки ВП удоб-

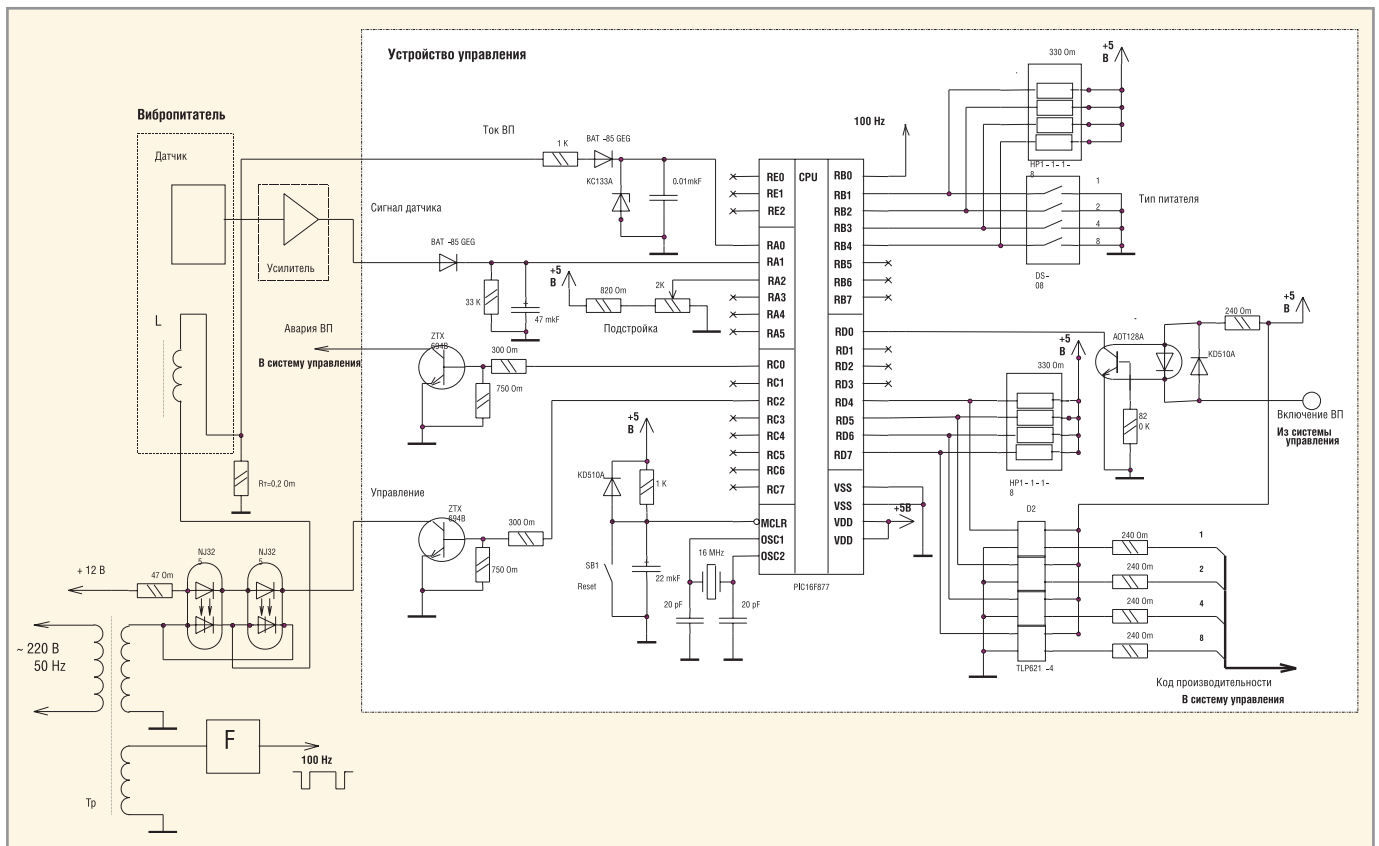


Рис. 4. Схема устройства управления

но осуществлять импульсами, следующими с частотой питающей сети 50 Гц или кратной ей частотой 100 Гц. Поэтому колебательная система вибратора механически настраивается на несколько большую частоту (103...107 Гц). Таким образом, питание катушки ВП осуществляется в «дорезонансном» режиме, поскольку частота вынужденных колебаний ниже резонансной.

Рассмотрим теперь схему устройства управления, представленную на рисунке 4. Её основой служит микропроцессор PIC16F877 фирмы Microchip.

В общем виде принцип управления такой же, как в любых системах с обратной связью. МП выполняет функцию цифрового регулятора, сравнивая сигнал датчика – выходной код АЦП – с кодом, соответствующим уставке, и формируя управление изменением фазового сдвига, который МП синхронизирует с напряжением питающей сети.

Управление производительностью осуществляется цифровыми сигналами, поступающими из системы управления обогатительной машины: «включение ВП» – 1 бит и «код производительности» – 4 бита, что обеспечивает 15 дискретных значений производительности. Каждому значению

производительности соответствует определённое значение напряжения на выходе датчика виброскорости, согласно измерительной характеристике (см. рис. 1). Набор этих значений заранее определён для каждого типа сортировочной машины (типа питателя). Соответственно выбор одного из наборов производится переключками DS-08. В реальном устройстве в программе заложено семь фиксированных наборов, но их количество может быть и большим (до 15). Все перечисленные сигналы поступают на цифровые порты микропроцессора.

Ещё один входной сигнал микропроцессора – сигнал синхронизации, поступающий на цифровой порт RB0. Он имеет вид последовательности коротких импульсов, соответствующих моменту перехода сетевого напряжения через нулевой уровень. Источником сигналов синхронизации служит формирователь F, работающий от отдельной обмотки трансформатора, питающего катушку. Период этих сигналов – 10 мс. Относительно них микропроцессор выполняет операции чтения аналоговых портов.

На аналоговые порты поступают: на RA0 – аналог тока катушки вибропита-

теля через выпрямитель/ограничитель (снимается с резистора Rt, включённого в цепь катушки), на RA1 – сигнал от датчика виброскорости через согласующий усилитель и выпрямитель, на RA2 – напряжение подстройки с потенциометра. Все три сигнала преобразуются в цифровой формат 12-разрядным АЦП, имеющимся в составе МП. Сигнал тока катушки используется для контроля возможного замыкания в цепи катушки. Изменение сигнала подстройки позволяет плавно подстраивать в небольших пределах производительность (виброскорость) под индивидуальный образец питателя, программно сдвига измерительную характеристику датчика.

Ток в катушке вибропитателя регулируется двумя оптодистристорами,

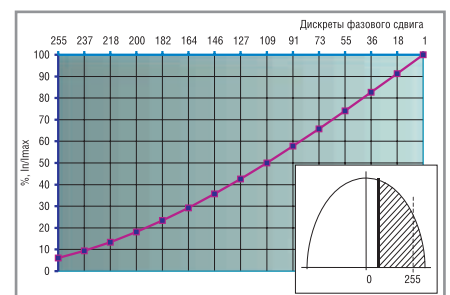


Рис. 5. Регулирующая характеристика катушки питателя

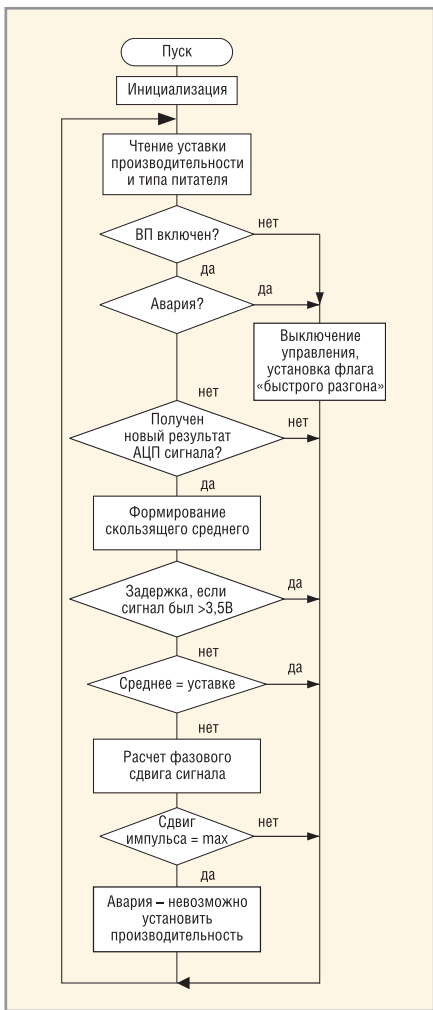


Рис. 6. Схема алгоритма «фоновой» программы

включёнными встречно-параллельно друг другу и последовательно – с обмоткой сетевого трансформатора и катушкой питателя. Управление током производится путем изменения МП фазового угла отсечки сетевого напряжения. Регулировочная характеристика – зависимость относительного значения тока в катушке от угла отсечки – приведена на рисунке 5. Угол отсечки (на регулировочной характеристике отложен по оси абсцисс) отсчитывается в «дискретах» от 0 до 255. Положение диапазона регулирования во времени условно показано на врезке, помещённой в правом нижнем углу рисунка.

Процесс управления осуществляется циклами, синхронизированными с частотой питающей сети. Длительность цикла равна половине периода сети – 10 мс. Импульсы управления оптотиристорами формируются микропроцессором в каждой полуволне сетевого напряжения и поступают на порт RC2 и далее через транзистор с

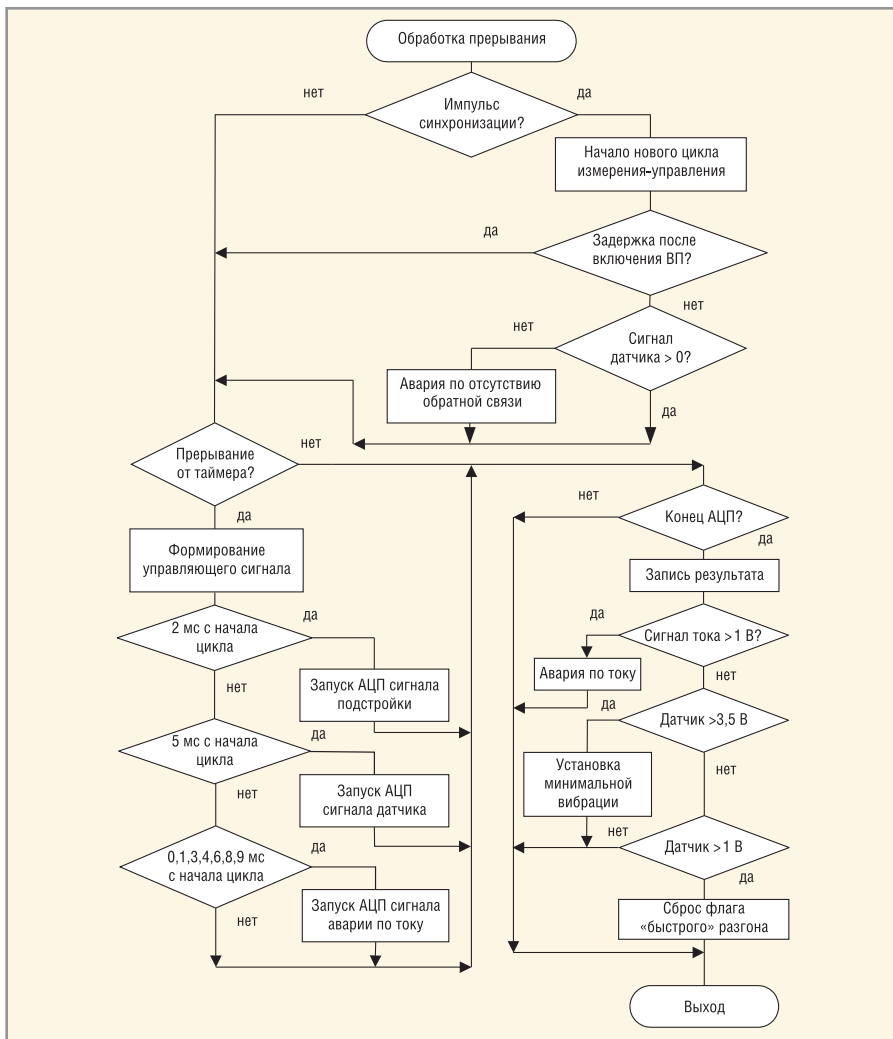


Рис. 7. Схема алгоритма подпрограммы обработки прерываний

открытым коллектором на оптроны тиристоров.

Работа устройства иллюстрируется блок-схемами, приведёнными на рисунках 6 и 7. На рисунке 6 показан «фоновый» процесс, который включает в себя чтение уставки производительности, контроль сигнала включения вибрации (подачи материала), усреднение значения сигнала датчика, считанного из аналогового порта 1, сравнение среднего значения с заданным для данной производительности. Если питатель включен, на основании расчёта инкрементируется либо декрементируется фазовый сдвиг импульсов включения оптотиристоров в соответствии с регулировочной характеристикой (см. рис. 5).

Изменение фазового сдвига происходит до установки заданной производительности (т.е. пока текущее среднее значение сигнала датчика не сравняется с уставкой). Если при минимальном фазовом сдвиге (1 дискрет) достигнуть заданного значения виброскорости (заданного значения

сигнала датчика в соответствии с измерительной характеристикой на рис. 1) за определенное время разгона не удаётся, формируется сигнал аварии в систему управления и одновременно прекращается подача импульсов включения оптотиристоров.

Процесс усреднения отсчётов сигнала датчика (значений виброскорости) запускается при получении очередного значения сигнала. Расчёт фазового сдвига осуществляется циклически с циклом, кратным периоду сети (20...100 периодов). При возникновении аварии или при выключении питателя выдача управляющих сигналов прекращается и устанавливается режим, аналогичный состоянию перед первым включением: минимальный фазовый сдвиг и флаг «быстрого разгона», т.е. быстрого входа питателя в заданный режим. В режиме «разгона» изменение фазового сдвига производится каждые 20 мс, а в режиме работы – каждые 160 мс. Это обусловлено нелинейностью регулировочной характеристики ка-

тушки питателя (см. рис. 5): при малом значении фазового сдвига его изменения больше влияют на выходной сигнал.

Собственно измерение (оцифровка с помощью АЦП) сигнала датчика и выдача импульсов управления по рассчитанному фазовому сдвигу выполняется при обработке прерываний. Алгоритм обработки прерывания (см. рис. 7) начинается с проверки прерывания по началу цикла RV0 (100 Гц). По этому прерыванию начинается новый цикл измерения-управления: сбрасывается счётчик времени цикла, для которого используется внутренний таймер, контролируется окончание программных тайм-аутов: запрета на изменение фазового сдвига, если было вхождение питателя в резонанс; завершения «разгона» вибропитателя. Если после заданной для разгона задержки сигнал датчика остаётся нулевым, формируется признак аварии.

Далее производится поверка прерывания по таймеру, который необходим для синхронизации отсчёта текущих значений сигналов на аналоговых портах и формирования сигналов управления. По «вложенным» прерываниям от таймера в каждом цикле – полупериоде сети – производится отсчёт (запуск АЦП) сигнала подстройки (2 мс после начала цикла), отсчёт сигнала датчика (5 мс после начала цикла) и множественный отсчёт тока катушки.

Результат АЦП фиксируется по прерыванию по окончанию АЦП. При необходимости по окончанию очередного преобразования производится переключение АЦП на требуемый канал.

Значение сигнала подстройки используется в фоновой программе для расчёта заданной производительности. Выбранный перемычками DS-08 набор из 15 уставок (значений напряжения на выходе датчика) корректируется в масштабе:

$$U_{\text{ук}} = 0,1U_{\text{ук}}(U_{\text{п}} - 2)/2,$$

где  $U_{\text{п}}$  – напряжение (в вольтах), снимаемое с потенциометра подстройки на аналоговый порт 2, а  $U_{\text{ук}}$  – напряжение уставки регулятора, соответствующее выбранной производительности  $k = 1...15$ .

Сигнал тока катушки сравнивается с порогом – 1 В; по превышению вырабатывается сигнал аварии по току катушки.

Сигнал датчика вибрации обрабатывается в фоновой программе, как указывалось выше. Кроме того, отсчёт этого сигнала сравнивается с порогом – 3,5 В. Превышение порога указывает на выход виброскорости за допустимые границы. Это может быть связано со входом вибратора в резонанс из-за самопроизвольного изменения собственной резонансной частоты, например, из-за перегрузки лотка породой. Программа в этом случае устанавливает фазовый

сдвиг сигнала управления на некоторый уровень, соответствующий минимальному току в катушке (для определённости – 200 дискрет (см. рис.5)). При этом виброскорость падает. Затем через 1 с процесс установки на заданную скорость повторяется. Если изменение характеристик вибратора, вызвавшее резкое возрастание виброскорости, было случайным, процесс выхода вибропитателя на заданную производительность повторяется и завершается, как описывалось выше.

Программа, реализующая описанные алгоритмы, разработана в интегрированной среде MPLab-IDE на языке MPASM и записана во флэш-память МП.

Устройство успешно испытано на вибропитателях с различными диапазонами виброскорости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волович Л., Волович Г. Интегральные акселерометры. Компоненты и технологии, on-line версия ([www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02\\_01/stat\\_66.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02_01/stat_66.htm)).
2. Гудинов Ф. Интегральный датчик ускорения для автомобильных надувных подушек. Электроника. 1991. № 16. С. 7–14.
3. [www.analog.com/en/prod/0,,764\\_800\\_AD-XL190,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,764_800_AD-XL190,00.html).
4. [www.analog.com/en/prod/0,,764\\_800\\_AD-XL150,00.html](http://www.analog.com/en/prod/0,,764_800_AD-XL150,00.html).
5. [www.micrus.ru/pdf/mma1201p.pdf](http://www.micrus.ru/pdf/mma1201p.pdf).
6. Виброметр общего назначения ВИНИТ-1-01; [www.npo-it.ru](http://www.npo-it.ru). ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### Необычный 3D-экран

Как сообщает «Компьюлента», в британской лаборатории HMC MediaLab в Плимуте создан необычный трёхмерный дисплей, в который можно буквально окунуться с головой. Предложенная система работает следующим образом. Комплекс состоит из экрана, инфракрасных сенсоров, видеокамеры и проектора. Сам экран изготовлен из так называемой «гиперткани» (Hyperfabric) – эластичного



материала, прогибающегося и деформирующегося под внешним воздействием. Сенсоры и видеокамера, установленные за полотном, регистрируют изменения формы экрана при нажатии и передают информацию в компьютер. Затем собранные данные обрабатываются специальной программой, после чего проектор воспроизводит соответствующую картинку уже на деформированном «дисплее».

Таким образом, человек может «погрузить», например, руку или голову в виртуальное пространство экрана. Текущий вариант системы использует полотно из «гиперткани» шириной метр и высотой два метра и генерирует объёмное изображение леса. По мнению разработчиков, трёхмерные эластичные экраны могли бы найти применение при организации различных выставок и интерактивных стендов.

### Universal Display развивает OLED

Как сообщает EETimes, компания Universal Display Corp. продемонстрировала световое OLED-табло с эффективностью 30 лм/Вт. Новинка, представленная на мероприятии Society of Optical Engineering Symposia & Exhibition, является одной из самых серьёзных разработок в области OLED на сегодня.

Разработчики утверждают, что панель излучает с силой света 150 лм при эффективности 15 лм/Вт и цветовой температуре 3700 К. Компания Universal Display, которой, между прочим, помогает министерство энергетики США, намерена развивать OLED-технологии и далее.

[www.hifinews.ru/article/details/](http://www.hifinews.ru/article/details/)