

УДК 65.011.5:621  
ББК 65.39  
JEL C31

### Экономически выгодная альтернатива применению тензометрических станций в системах ЧПУ

**Снетков Леонид Сергеевич**, магистрант кафедры “Основы конструирования машин”,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Адрес: 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 105005.  
E-mail: [snetkov.leonid@yandex.ru](mailto:snetkov.leonid@yandex.ru)

**Научный руководитель: Ермолаев Михаил Михайлович**, к.т.н., доцент кафедры РКЗ  
Основы конструирования машин МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Адрес: 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Российская Федерация, 105005.

**Аннотация.** Процесс разработки станочного оборудования в наше время достаточно плотно сочетает, как вопросы механики, так и электроники. Применение числового программного управления в станках уже много лет стало их неотъемлемой частью. Числовое программное управление является комплексом электротехнических и электронных устройств, многие готовые компоненты которого являются порой достаточно дорогостоящими. Сейчас производители интегральных схем выпускают на рынок решения, позволяющие упростить разработку электронных плат. В работе предлагается оригинальная схема исполнения тензостанции.

**Ключевые слова:** тензостанция, тензоусилитель, тензометрия, мост Уитсона, аналоговый сигнал, аналоговый усилитель.

### Economically beneficial alternative to tensometric measuring station application in CNC systems

**Leonid S. Snetkov**, Master’s Degree student of the «Bases of Machine Designing» Department,  
Bauman Moscow State Technical University,  
Address: 2nd Baumanskaya St., 5, bldg. 1, Moscow, Russian Federation, 105005.  
E-mail: [snetkov.leonid@yandex.ru](mailto:snetkov.leonid@yandex.ru)

**Scientific adviser: Mikhail M. Ermolaev**, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the Department of RK3 Fundamentals of Machine Design,  
Moscow State Technical University N.E. Bauman,  
Address: 2nd Baumanskaya St., 5, bldg. 1, Moscow, Russian Federation, 105005.

**Abstract.** Nowadays the machine tool designing process densely combines both mechanical and electronical problems. For many years CNC application in machining works is being its inalienable part. CNC appears to be a complex of electrotechnical and electronic devices, which components are sometimes expensive enough to be used in production. Today’s chip manufacturers offer the solutions that allow to simplify the circuit board designing process. Employment of such solutions in relation to tensometric measuring stations gives an opportunity to save on usage of fully finished measuring stations during the machine tool designing process. This work proposes the original tensometric station implementation scheme.

**Key words:** tensometric measuring station, tensometric amplifier, tensometry, Wheatstone bridge, analog signal, analog amplifier.

### Введение

Современное станочное оборудование практически не обходится без применения систем числового программного управления (ЧПУ) [4]. На Рис. 1 приведена упрощенная

схема такой системы. В ее составе применяется множество различных типовых элементов, таких как: сервоприводы, частотные преобразователи, тензостанции для обработки показаний определенных измерительных преобразователей (датчиков), не представленных на рисунке.

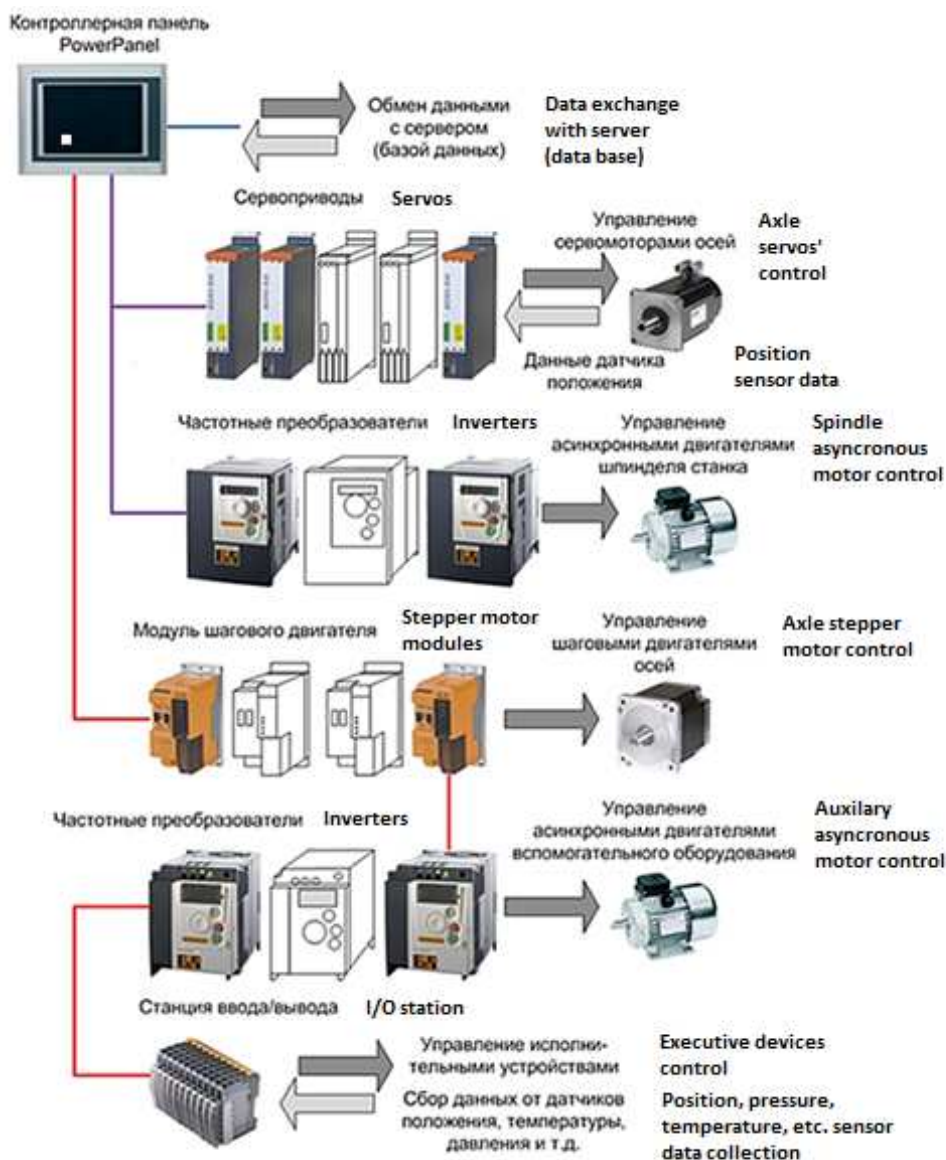


Рис. 1. / Fig. 1. Упрощенная схема ЧПУ<sup>1</sup>/ Simplified CNC diagram

Такая автоматизация оборудования реализуется путем применения электроприводов с управлением по датчикам обратной связи, либо с использованием бездатчиковых алгоритмов управления. В данной статье речь пойдет о системах первого типа.

### Материалы и методы

Датчики, применяемые в станках, обычно не требуют применения систем усиления их собственных показаний. Таковыми являются датчики цифровые, например различные энкодеры положения и аналоговые датчики температуры, освещенности и им подобные.

В случае, когда требуется производить измерения различных моментов и усилий, используются тензодатчики, состоящие из тензорезисторов, наклеенных на его

<sup>1</sup> URL: <http://open-automation.ru/>

деформируемую часть, которые обычно соединяются в мост Уитстона [2, 3]. На Рис. 2 приведена схема такого моста, тензорезисторы обозначены, как  $R_s$  индексами. Изменение сопротивления тензорезисторов в цепи, вызванное их деформацией, отражается на выходном измеряемом напряжении  $V_0$  при постоянстве питающего напряжения схемы  $V_{ex}$ . Эти изменения выходного напряжения слишком малы, чтобы фиксировать их напрямую.

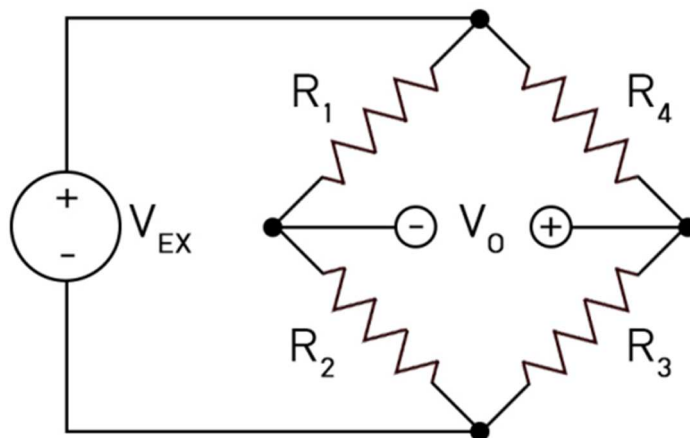


Рис. 2. / Fig. 2. Мост Уитстона [2] / Wheatstone Bridge [2]

Поэтому для таких измерений используют тензоусилители, обычно предоставляемые вместе с блоком АЦП, производящим преобразование аналоговых величин в цифровые для дальнейшей обработки на ЭВМ. На рынке в данный момент можно найти многоканальные тензостанции, например, фирм ZETLAB [5], Kistler [7] представленные на Рис. 3а и Рис. 3б соответственно.



а)



б)

Рис. 3. / Fig. 3. Тензостанции [5, 7] / Tension stations [5, 7]

### Обсуждение

Стоимость таких тензостанций может превышать стоимость самой ЭВМ в несколько раз. При разработке станочного оборудования применение такого рода тензостанций не всегда оправдано.

Система ЧПУ подразумевает наличие микроконтроллеров или микропроцессорных плат с блоками АЦП. Таким образом, ставится вопрос о разработке тензоусилителя с коэффициентом усиления до 1000 (зависит в большей степени от величин деформаций тензодатчика и схемы подключения тензорезисторов).

Сейчас производители полупроводников предлагают различные решения для разработки тензоусилителей с минимальной обвязкой и габаритами платы и достаточно высокими характеристиками. Одним из таких решений является инструментальный усилитель AD620 [1]. Основой последнего являются операционные усилители – Рис. 4а. Пример реализации уже готового усилителя можно видеть на рисунке Рис. 4б. Можно видеть, что данная реализация требует минимум электронных компонентов, что говорит о простоте в создании целых усилителей такого типа. Также удобством является факт простой наладки и настройки усилителя: коэффициент усиления определяется значением сопротивления [1]. Для систем с несколькими измерительными мостами, т.е. каналами,

подключаемыми к тензоусилителю, задача не сильно усложняется: необходимо применить несколько микросхем, по одной, соответственно, на каждый канал.

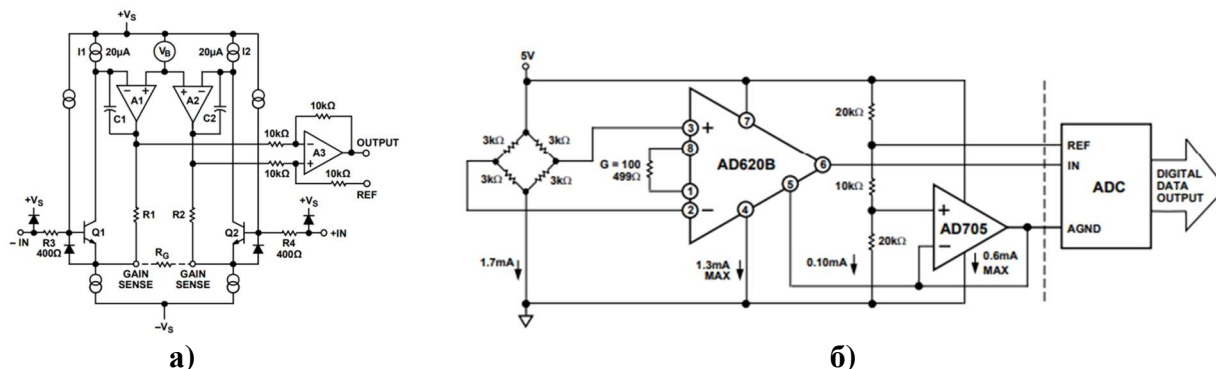


Рис. 4. / Fig.4. а) Упрощенная структурная схема AD620, б) Пример измерительной схемы на AD620 [1, С. 13, 15] /  
 a) Simplified block diagram of the AD620,  
 b) An example of a measuring circuit on the AD620 [1, С. 13, 15]

По достаточно простой схеме, о которой говорилось выше, необходимо создать электронную плату. Задачу размещения компонентов, трассировку дорожек на которой позволяют выполнять современные программные пакеты для работы с электрическими схемами, например KiCad [6].

Разработка электроники для целей, описываемых в данной статье, в современности сильно упростилась в связи с развитием полупроводниковой индустрии. Многие вопросы электротехнического характера решены самими производителями микросхем, дающими альтернативу применению дорогостоящих тензостанций.

## Заключение

Развитие современной электротехники и современная индустрия полупроводников дает возможность разработчику станочного оборудования самостоятельно реализовывать системы обработки данных с тензодатчиков не прибегая к покупке готовых тензостанций, исключая случаи, где такое применение последних действительно оправдано.

## Литература

1. Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620 [Электронный ресурс] : Datasheet / Analog Devices. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>.
2. Дайчик М.Л., Пригоровский Н.И., Хуршудов Г.Х. Методы и средства натурной тензометрии. Справочник. М. Машиностроение, 1989. – 240с.
3. Бридли К., Измерительные преобразователи. Энергоатомиздат., М., 1991, 144с.
4. Головенков С.Н., Сироткин С.В. Основы автоматизации и автоматического регулирования станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1980. 142 с.
5. Тензометрические станции. Технические характеристики. [Электронный ресурс] : Каталог – Электронные данные. – Режим доступа: <https://zet.nt-rt.ru/images/manuals/Tenzometry.pdf>.
6. Lambert M. Surhone, Miriam T. Timpledon, Susan F. Marseken. KiCad. Betascript Publishing, 2010. 132 с.
7. Measuring amplifiers. [Электронный ресурс]: Каталог – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.kistler.com/files/download/960-907e.pdf?callee=frontend>.

## Reference

1. Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620 [Electronic resource] : Datasheet / Analog Devices. – Electronic data. – Access Mode: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD620.pdf>
2. Daychik M.L., Prigirivsky N.I., Khurshudov G.Kh. Resources and methods of on location Tensometry. Handbook. M. Machinery, 1989. – 240p.
3. BridlyK., Measuring transducers. Energoatomizdat., M., 1991, 144p.
4. GolovenkovS. N., SirotkinS. V. AutomaticsandCNCmachinesautomaticcontrolbases. M. Machinery, 1980. – 142p.
5. Tensometric measuring stations. Technical characteristics. [Electronic resource] : Catalogue – Electronic data. – Access mode: <https://zet.nt-rt.ru/images/manuals/Tenzometry.pdf>
6. Lambert M. Surhone, Miriam T. Timplendon, Susan F. Marseken. KiCad. Betascript Publishing, 2010. 132 c.
7. Measuring amplifiers. [Electronic resource]: Catalogue – Electronic data. – Access mode: <https://www.kistler.com/files/download/960-907e.pdf?calle=frontend>.