

## СТРУКТУРА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНДУКТОСИНА

Рассмотрены вопросы формирования структуры микроконтроллерного измерителя перемещения с использованием индуктосина в качестве датчика положения, на основе функционально-структурного подхода, предложенного в работах Е.П. Балашова. В результате декомпозиции целевой функции измерителя формируется дерево функций. Функции 1-го уровня определяют основные показатели измерителя перемещения, такие как производительность, надежность, функциональность и оказывают первоочередное влияние на структуру измерителя. Дополнительные функции 2-го уровня расширяют функциональность измерителя перемещения. Приведены результаты синтеза структуры микроконтроллерного измерителя перемещения на основе предложенного дерева функций.

Ключевые слова: дерево функций, структура, функционально-структурный подход, микроконтроллер, измеритель перемещения, индуктосин.

N.V.KHRULOV

Cherkasy State Technological University

### THE STRUCTURE OF MCU INDUCTOSYN-BASED MOVEMENT MEASURER

*Abstract – The purpose of this article is the synthesis of the structure of microcontroller movement measurer that used inductosyn as a position sensor. Questions of forming the structure of MCU inductosyn -based movement measurer on the basis of the functional-structural approach proposed in the works of E.P.Balashov are considered. As a result of the target function of measurer decomposition the functions tree is formed. The functions of the 1st level defines the basic parameters of the MCU inductosyn-based movement measurer, such as performance, reliability, functionality and provide a top-priority influence on the structure of the measurer. Additional functions of the 2nd level enhance the functionality of the movement measurer. The results of the synthesis of the structure of MCU inductosyn-based movement measurer on the basis of the suggested functions tree are produced. The proposed structure can significantly reduce the circuit complexity of movement measurer, increase reliability and reduce the cost of the final product.*

*Keywords: functions tree, structure, functional-structural approach, microcontroller, movement measurer, inductosyn.*

### Постановка проблемы

Система ЧПУ предназначена для получения детали заданной формы с заданной точностью в результате автоматизированного точечного взаимодействия между инструментом и предметом обработки [1]. Обеспечение выполнения целевой функции системой ЧПУ существенным образом зависит от типа применяемого датчика положения и, соответственно, измерителя перемещения.

В качестве датчиков положения наибольшее распространение получили индуктосины, вращающиеся трансформаторы (ВТ), сельсины, а также оптические датчики [2, 3]. По состоянию на сегодня все перечисленные типы датчиков положения выпускаются промышленностью. Следует отметить, что наряду с перечисленными типами датчиков положения создаются новые, например, на основе лазеров [4].

Информация, получаемая от датчика положения, обрабатывается измерителем перемещения. На структурные, схемотехнические и программные решения при разработке измерителей перемещения в первую очередь оказывает влияние тип датчика положения, также существенно влияют достижения в области микроэлектроники и вычислительной техники.

Известны измерители перемещения, выполненные на основе микроконтроллеров. Однако, в научно-технической периодике недостаточно отражены решения по усовершенствованию измерителей перемещения, в том числе с использованием в качестве датчика положения индуктосина. Таким образом, проблема разработки новых измерителей перемещения, соответствующих современному уровню развития микроэлектроники и вычислительных средств и выполняющих расширенный набор функций, актуальна и представляет определенный научный и практический интерес.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Характеристики датчиков положения приведены в [2–4]. В [5] приведено техническое описание модулей, входящих в состав измерителя перемещения системы ЧПУ 2С42—65 с использованием датчика положения типа индуктосин. По состоянию на сегодня, широкое распространение получают устройства, выполненные с применением микроконтроллеров [6, 7]. Вариант следящего электропривода на основе микроконтроллера с использованием датчика положения типа синусно-косинусный вращающийся трансформатор описан в [8].

### Цель статьи

Целью данной статьи является синтез структуры микроконтроллерного измерителя перемещения с использованием индуктосина в качестве датчика положения, соответствующего современному уровню развития микроэлектроники и вычислительных средств, за счет чего обеспечивается повышение надежности, снижение потребляемой мощности, снижение стоимостных и массогабаритных характеристик измерителя.

### Изложение основного материала

При разработке измерителей перемещения, с одной стороны, должен учитываться имеющийся

научно-технический задел, с другой стороны, необходимо шире применять новейшие технологии, создающие новые свойства измерителей перемещения, ранее недоступные. Одним из таких направлений, например, может быть применение микроконтроллеров разного уровня сложности [6, 7], что, в свою очередь, позволит расширить набор функций выполняемых измерителем перемещения.

Измерение перемещений с использованием датчика положения типа индуктосин основано на измерении фазы между питающим напряжением и напряжением, снятым с подвижной измерительной катушки. Измеренное значение фазы пропорционально линейному или угловому перемещению, в зависимости от типа применяемого индуктосина.

Для измерения перемещений в ЧПУ 2С42—65 используются следующие блоки:

SB-453 блок генератора опорных частот;

SB-455 блок питания датчиков типа индуктосин;

SB-457 блок оцифровки сигналов, поступающих с датчика типа индуктосин.

Блок SB-453 служит для генерирования опорных частот 10 МГц, 5 МГц, 2,5 МГц и 2,5 кГц. Частота 10 МГц формируется кварцевым генератором, остальные частоты получают делением. Частоты 10 МГц, 5 МГц и 2,5 МГц используются для оцифровки сигнала с датчика. Частота 2,5 кГц используется для формирования питающих напряжений датчиков типа индуктосин. Функции данного модуля могут быть реализованы на основе 8-разрядных микроконтроллеров семейства AVR, PIC или подобных.

Питание датчиков типа индуктосин осуществляется двумя напряжениями, реализующими функции  $Asin \omega t$  и  $Acos \omega t$ . В блоке SB-455 выполняется преобразование прямоугольного сигнала частотой 2,5 кГц в сигнал  $Asin \omega t$ , которое выполняется при помощи фильтра низкой частоты 3-го порядка и фильтра-пробки, отсекающих высшие гармоники. Напряжение  $Acos \omega t$  получается из  $Asin \omega t$  при помощи фазосдвигающей цепочки. Затем в блоке SB-455 выполняется усиление полученных напряжений по мощности. Напряжения  $Asin \omega t$  и  $Acos \omega t$  могут быть сформированы при помощи 8-разрядных микроконтроллеров, например, семейства AVR или PIC, с использованием цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) или широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а затем усилены интегральным усилителем мощности, что позволит значительно сократить аппаратные затраты. Также в блоке SB-455 формируется сигнал начала оцифровки при помощи полосового фильтра, аналогового компаратора и одновибратора, срабатывающего по фронту. При помощи микроконтроллера запуск оцифровки может быть выполнен программно, т.е. необходимость в полосовом фильтре, аналоговом компараторе и одновибраторе отсутствует.

Блок SB-457 оцифровки сигналов датчика типа индуктосин выполнен на счетчиках. Также в блоке SB-457 формируется сигнал завершения оцифровки при помощи полосового фильтра, аналогового компаратора и одновибратора, срабатывающего при смене знака сигнала  $Asin(\omega t + \varphi)$  измерительной обмотки датчика с отрицательного на положительное значение. Функции данного модуля также могут быть реализованы на основе 8-разрядных микроконтроллеров, например, семейства AVR или PIC.

В соответствии с функционально-структурным подходом, изложенным в [9] структурная организация системы должна соответствовать ее функциональному назначению и условиям эксплуатации.

Представим измеритель перемещения в виде математического описания:

$$S_{msr} = \langle SS_1(F_1), \dots, SS_i(F_i) \rangle, \quad (1)$$

где  $S_{msr}$  – разрабатываемый измеритель перемещения;

$SS_1(F_1)$  – первая подсистема (subsystem), реализующая набор функций  $F_1$ ;

$SS_i(F_i)$  –  $i$ -я подсистема, реализующая набор функций  $F_i$ .

Каждая подсистема (структурный модуль), в свою очередь, может быть представлена в виде математического описания аналогичного (1) в соответствии с заданным деревом функций.

В соответствии с методологией функционально-структурного подхода [9] и на основе анализа технических материалов по измерителям перемещения [2–5, 8] сформируем дерево функций 1-го и 2-го уровней измерителя перемещения использующего датчик положения типа индуктосин.

Уровень 0.

$F_0$  – функционирование измерителя перемещения обеспечивающего получение детали заданной формы с заданной точностью в результате автоматизированного точечного взаимодействия между инструментом и предметом обработки [1], а также выполнения дополнительных функций.

Функции уровня 1.

На основе материала, изложенного в [2–5, 8], сформулируем функции уровня 1 измерителя перемещения:

$F_1$  – функция сопряжения измерителя перемещения с центральным компьютером системы ЧПУ;

$F_2$  – функция формирования питающих напряжений датчика положения типа индуктосин;

$F_3$  – функция измерения.

Функции уровня 2.

Сформулируем функции уровня 2 измерителя перемещения:

$F1.1$  – функция преобразования уровней сигналов в соответствии с выбранным типом интерфейса;

$F1.2$  – функция вывода информации о перемещении в центральный компьютер системы ЧПУ;

$F2.1$  – функция формирования питающего напряжения синусоидальной формы  $Asin \omega t$ ;

$F2.2$  – функция усиления напряжения синусоидальной формы;

- F2.3 – функция формирования питающего напряжения косинусоидальной формы  $A \cos \omega t$ ;
- F2.4 – функция усиления напряжения косинусоидальной формы;
- F2.5 – функция формирования опорной частоты питающего напряжения;
- F3.1 – функция запуска счета импульсов опорной частоты;
- F3.2 – функция счета импульсов опорной частоты измерителя;
- F3.3 – функция преобразования входного сигнала;
- F3.4 – функция останова счета импульсов опорной частоты;
- F3.5 – функция формирования опорной частоты измерителя.

Для реализации предложенного дерева функций измеритель перемещения должен состоять из следующих подсистем (рис.1):

- SS1 – подсистема сопряжения измерителя перемещения с центральным компьютером системы ЧПУ;
- SS2 – подсистема формирования питающих напряжений датчика положения типа индуктосин;
- SS3 – подсистема измерения.

Подсистема SS1 сопряжения измерителя перемещения с центральным компьютером системы ЧПУ должна состоять из следующих функциональных модулей:

- St1.1 – интерфейсного модуля;
- St1.2 – модуля вывода измеренных координат в центральный компьютер системы ЧПУ.

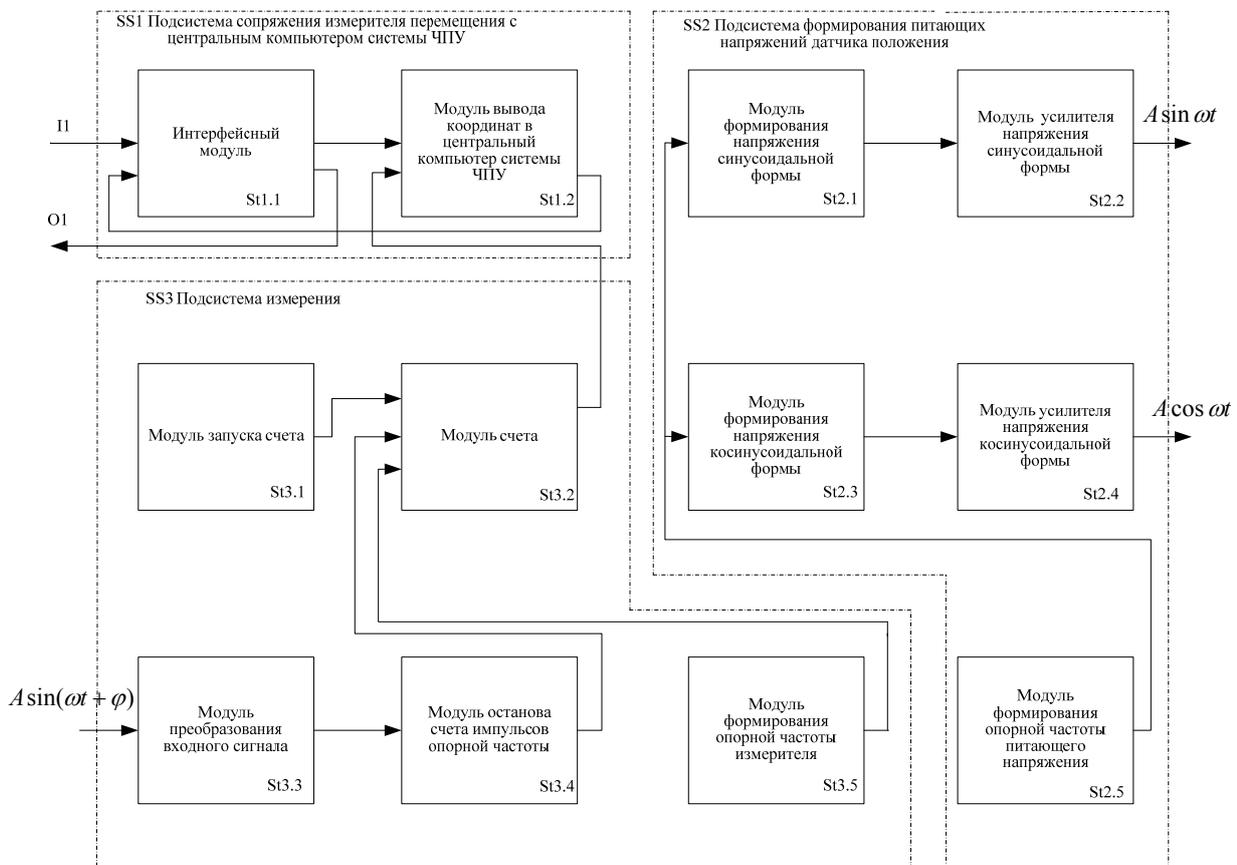


Рис.1. Структура микроконтроллерного измерителя перемещения

Подсистема SS2 формирования питающих напряжений датчика положения типа индуктосин должна состоять из следующих функциональных модулей:

- St2.1 – модуль формирования напряжения синусоидальной формы  $A \sin \omega t$ ;
- St2.2 – модуль усилителя напряжения синусоидальной формы;
- St2.3 – модуль формирования напряжения косинусоидальной формы  $A \cos \omega t$ ;
- St2.4 – модуль усилителя напряжения косинусоидальной формы;
- St2.5 – модуль формирования опорной частоты питающего напряжения.

Подсистема SS3 измерения должна состоять из следующих функциональных модулей:

- St3.1 – модуль запуска счета импульсов опорной частоты;
- St3.2 – модуль счета импульсов опорной частоты;
- St3.3 – модуль преобразования входного сигнала  $A \sin(\omega t + \varphi)$  в сигнал прямоугольной формы;
- St3.4 – модуль останова счета импульсов опорной частоты.
- St3.5 – модуль формирования опорной частоты измерителя.

Представленный измеритель перемещения может быть реализован различными способами [10]. В качестве основного элемента измерителя предлагается использовать микроконтроллер. Стоимость

измерителя зависит от стоимости микроконтроллера и определяется его вычислительной мощностью, объемом оперативной и постоянной памяти, а также наличием необходимых средств ввода-вывода.

Большинство модулей приведенной структуры могут быть реализованы программно на основе микроконтроллера. Некоторые модули могут быть реализованы только аппаратно, например, выполняющие функции сопряжения микроконтроллера с управляющей ЭВМ и датчиками положения.

Функциональность предложенного микроконтроллерного измерителя перемещения можно расширить за счет добавления функции управления перемещением режущего инструмента. В этом случае предложенная структура превратится, по сути, в однокоординатную систему управления следящим электроприводом.

Добавление функции технической диагностики повысит надежность работы как предлагаемого измерителя, так и системы ЧПУ в целом.

### Выводы

В статье выполнен анализ функций измерителей перемещения выполненных на основе датчика положения типа индуктосин. На основании проведенного анализа, а также с учетом современных достижений в области микроэлектроники и вычислительных средств, сформировано дерево функций измерителя перемещения 1-го и 2-го уровней, на основании чего выполнен синтез структуры измерителя перемещения выполненного на основе датчика положения типа индуктосин. Предложенная структура позволяет значительно снизить схемотехническую сложность измерителя перемещения, повысить его надежность и снизить стоимость конечного изделия.

### Литература

1. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 248 с.
2. Резольверы – преобразователи угловых перемещений на основе вращающегося трансформатора [Электронный ресурс] / СКБИС. — Режим доступа : <http://www.skbis.ru/index.php?p=3&c=10>
3. Инкрементные линейные фотоэлектрические преобразователи перемещений [Электронный ресурс] / СКБИС. — Режим доступа : <http://www.skbis.ru/index.php?p=3&c=1>
4. Лазерные датчики перемещения [Электронный ресурс] / СКБИС. — Режим доступа : <http://www.mega-sensor.ru/measure/mes-displ/>
5. Устройство 2C42—65: Руководство по эксплуатации 3.035.090 РЭ : часть 1. – 1991. – 84 с.
6. Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers [Электронный ресурс] / Atmel Corporation. — Режим доступа : <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>.
7. STM32 32-bit ARM Cortex MCUs [Электронный ресурс] / Atmel Corporation. — Режим доступа : <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169>.
8. Иванов В.М. Электроприводы с системами числового программного управления : учебное пособие / сост. В.М. Иванов. – Ульяновск : УлГТУ, 2006. – 152 с.
9. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем / Е.П. Балашов. – М. : Радио и связь, 1985. – 328 с.
10. Рудницкий В.Н. Обоснование выбора аппаратной платформы подсистем устройства ЧПУ / В.Н. Рудницкий, Н.В. Хрулёв // Эвристические алгоритмы и распределенные вычисления в прикладных задачах : коллективная монография / под ред. Б. Ф. Мельникова. — Ульяновск : ТГУ, 2013. — Вып. 2. — С. 141–153.

### References

1. Koshkin V.L., Hardware CNC system, Mashinostroenie, 1989, 248p.
2. Rezol'very - preobrazovateli uglovyh peremeshhenij na osnove vrashhajushhegosja transformatora SKB IS <http://www.skbis.ru/index.php?p=3&c=10>
3. Inkrementnye linejnye fotoelektricheskie preobrazovateli peremeshhenij SKB IS/ <http://www.skbis.ru/index.php?p=3&c=1>
4. Lazernye datchiki peremeshhenija SKB IS <http://www.mega-sensor.ru/measure/mes-displ/>
5. The CNC 2C42-65, Instruction manual Part 1, 1991, 84 p.
6. Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers, Atmel Corporation, <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>.
7. STM32 32-bit ARM Cortex MCUs, STMicroelectronics, <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169>.
8. Ivanov V.M., Electric drives with CNC systems, tutorial, Ulyanovsk, UlSTU, 2006, 152p.
9. Balashov E.P. Systems evolutionary synthesis, Radio i svjaz, 1985, 328p.
10. Rudnicki V.N., Khrulov N.V. Justification of the choice of hardware platform of the CNC subsystems, Heuristic algorithms and distributed computing in applied problems: Collective monograph, Ed. B.F. Melnikov, Ulyanovsk, TSU, 2013, Vol. 2, pp. 141-153.

Рецензія/Peer review : 21.1.2015 р.

Надрукована/Printed :26.1.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Н. Рудницкий