

УДК 681.586.787

ВЫСОКОТОЧНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ю.В. Гречушкин

ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, Малая Посадская ул., 30
E-mail: office@eprib.ru

О.К. Епифанов

ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Россия, 197046, Санкт-Петербург, Малая Посадская ул., 30
E-mail: office@eprib.ru

Ключевые слова: преобразование угла, цифровой преобразователь угла, электропривод, девиация вала, электромагнитная устойчивость, программно-алгоритмическая коррекция.

Аннотация: Описывается техническое решение абсолютного высокоточного цифрового преобразователя угла типа «угол–параметр–код» с самокалибровкой, излагаются принципы сохранения высокой точности преобразования угла в условиях повышенной радиальной и осевой девиации вала электропривода, рассматриваются вопросы обеспечения его электромагнитной устойчивости, повышения стабильности и устойчивости выработки цифрового кода угла, приводятся практические результаты по обеспечению точности и устойчивости работы цифрового преобразователя угла и достоверности его выходных кодов.

1. Введение

Управление параметрами угловых движений в высоконагруженных исполнительных устройствах различных по назначению крупногабаритных робототехнических комплексов (РК) осуществляется преимущественно управляемыми электроприводами с электродвигателями (ЭД) повышенной мощности, в которых используются различные по принципиальным решениям цифровые преобразователи угловых перемещений (ЦПУ), выполняющие преобразование и выработку цифрового кода текущих углового положения, направления и скорости движения выходного вала ЭД или оси высоконагруженного исполнительного устройства.

Преобразование угловых перемещений с высокой точностью предполагает непосредственное сопряжение подвижной части ЦПУ с валом исполнительного устройства без использования механического редуктора или переходных муфт [1, 2]. Однако в этом случае существенное влияние на точность преобразования может оказывать радиальная и осевая девиация вала, характерные для высоконагруженных крупногабаритных электроприводов, особенно при реверсивном движении. Вместе с тем, места размещения таких ЦПУ в непосредственной близости от мощных ЭД или при непосредственном их встраивании в конструктивные части таких ЭД характеризуются

повышенной жесткостью внешней электромагнитной обстановки. В указанных условиях эффективным является принципиальное решение абсолютного ЦПУ типа «угол-параметр код» с самокалибровкой (ЦПУ-К) [1-4], в котором первичное преобразование углового положения в функциональные электрические сигналы «угол-параметр» осуществляется многополюсным двухотсчетным индукционным датчиком угла компенсированного типа (ДУ), содержащим два соосно расположенных синусно-косинусных вращающихся трансформатора (СКВТ) с коэффициентами электрической редукции, отличающимися на единицу, а вторичное преобразование электрических сигналов в цифровые коды угла «параметр-код» осуществляется двумя идентичными функциональных АЦПУ следящего типа с последующим формированием абсолютного полного выходного кода угла (ПВК) и кода скорости в микропроцессорном устройстве ЦПУ-К.

Принципиальное решение ЦПУ-К иллюстрируется его структурной схемой, приведенной на рис. 1.

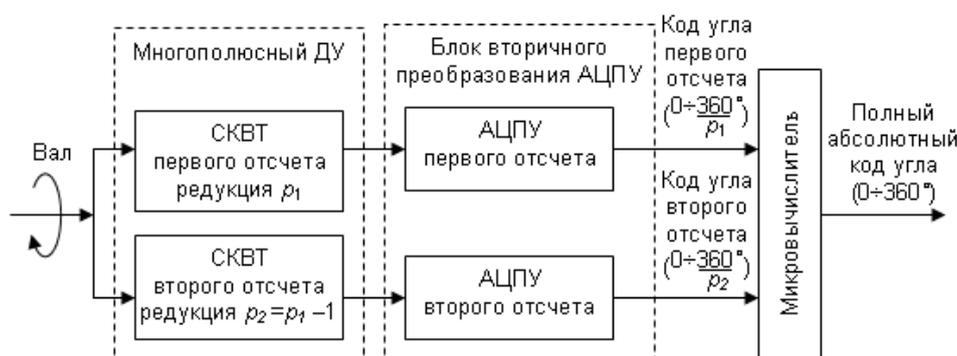


Рис. 1. Структурная схема принципиального решения ЦПУ-К.

Указанное принципиальное решение ЦПУ-К обладает высокой устойчивостью к воздействию различных внешних воздействующих факторов (ВВФ) окружающей среды и одновременно высокой точностью преобразования угла на уровне менее десятка угловых секунд, а при выполнении самокалибровки – на порядок точнее [3,5]. Тем не менее, задачи сохранения высокого уровня точности и обеспечение стабильной работы ЦПУ в особо жестких условиях эксплуатации в составе высоконагруженных электроприводов крупногабаритных РК требует выработки соответствующих технических и программно-алгоритмических решений.

2. Повышение электромагнитной устойчивости ЦПУ-К

Одним из основных факторов, ограничивающих электромагнитную устойчивость ЦПУ-К, является восприимчивость к внешним импульсным и переменным электромагнитным полям как электрических линий связи, по которым передаются низковольтные функциональные сигналы от многополюсных ДУ к блоку АЦПУ, особенно в условиях его удаленного размещения от ДУ в РК, так электрических линий связи в самом блоке АЦПУ.

Сами ДУ в составе ЦПУ-К обладают низкой восприимчивостью к внешним электромагнитным полям в силу их принципиального построения [1, 3]. Вместе с тем, при воздействии переменных электромагнитных полей высокой интенсивности, в обмотках ДУ могут возникать дополнительные индуцированные напряжения, которые приводят к искажению функциональных электрических сигналов и соответственно к снижению точности преобразования угловых перемещений [6, 7].

Повышение электромагнитной устойчивости ЦПУ-К может быть достигнуто выполнением единой конструктивной компоновки ДУ и блока АЦПУ. Это позволяет исключить протяженные электрические линии связи, а также реализовывать эффективные защитные экранирующие оболочки в конструкции ЦПУ-К.

На рис. 2 показан внешний вид резервированного ЦПУ-К без собственных подшипников, в статорной части которого выполнена конструктивная компоновка ДУ и блока АЦПУ. Конструкция ЦПУ-К состоит из двух частей: роторной, устанавливаемой непосредственно на вал мощного ЭД или исполнительного механизма, и статорной, устанавливаемой на его корпусе [8].



Рис. 2. Конструктивная компоновка ДУ и блока АЦПУ и внешний вид резервированного ЦПУ-К без собственных подшипников.

Для получения экранирующих свойств, корпуса статорной и роторной частей ЦПУ-К выполняются в виде замкнутых в магнитном отношении оболочек из магнитомягкого электропроводящего материала и их омеднения, что обеспечивает ослабление во внутреннем объеме ЦПУ-К внешних электромагнитных полей в диапазоне частот от 0,05 кГц до сотен МГц на 6-7 порядков [7].

3. Обеспечение точности преобразования угла ЦПУ в условиях радиальной и осевой девиации вала

Характерным для крупногабаритных высоконагруженных электроприводов РК является наличие существенная эксплуатационная нестабильность положения поверхности вала ЭД, вызываемой радиальной и осевой девиацией его оси при вращении, особенно в условиях реверсивного движения. Указанные девиации приводят к росту погрешности преобразования ЦПУ и ограничивает возможность применения большинства физических принципов построения ЦПУ и энкодеров высокоточного преобразования угла. Степень влияния указанных воздействий на точность ЦПУ-К определяется чувствительностью к ним ДУ и приводит к появлению дополнительных пространственных гармоник как длиннопериодной, так и внутрипериодной погрешности преобразования угла [1, 2].

Снижение чувствительности ЦПУ-К к радиальной и осевой девиации вала ЭД достигается путем установления взаимоувязанных ортогональных параметров геометрии зубчатой структуры статора и ротора ДУ, выполнения с достаточным превышением величины воздушного зазора между ними над предельно допустимой величиной в ЭД радиальной девиации с соответствующей оптимизацией электромагнитной загрузки ДУ, а также обеспечением магнитного перекрытия зубцовых зон статора и ротора ДУ в условиях предельного осевого смещения вала. Практическая реализация в ЦПУ-К указанных решений позволяет обеспечивать точность преобразования углового положения вала ЭД при его радиальной и осевой девиации до нескольких миллиметров.

4. Программно-алгоритмическое выявление и исключение сбоев кода угла внутренними средствами ЦПУ-К

Несмотря на высокую устойчивость ЦПУ-К к ВВФ условий эксплуатации, в определенных случаях их превышения относительно установленных максимальных значений, может возникать выработка недостоверных кодов углового положения и их передача в систему управления РК. Альтернативным способом повышения устойчивости и стабильности работы ЦПУ-К являются выявление и исключение (нейтрализация) этих недостоверных кодов в процессе текущего преобразования угла ЦПУ-К собственными внутренними средствами [9]. Условием выработки в ЦПУ-К достоверного абсолютного ПВК углового положения по совокупности кодов угла СКВТ первого и второго отсчетов (см. рис. 1) является их согласованность в пределах установленного диапазона, определяемого их редукцией [10].

Оценка текущего рассогласования отсчетов может быть выполнена на основе совокупности мгновенных значений кодов угла СКВТ обоих отсчетов. При выходе рассогласования за допустимые пределы вырабатываемый абсолютный ПВК угла скачкообразно изменяется на величину, соответствующую периоду преобразования первого СКВТ, что является сбоем в работе ЦПУ-К. Указанное скачкообразное изменение ПВК угла многократно превышает его изменение в результате вращения вала, позволяя использовать это в качестве критерия оценки достоверности. Исходя из этого, идентификация выработки недостоверного абсолютного ПВК угла может быть выполнена совокупной оценкой его изменения во времени и оценкой текущего значения рассогласования отсчетов средствами микропроцессорного блока ЦПУ-К.

При выявлении микропроцессорным блоком ЦПУ-К выработки недостоверного значения абсолютного ПВК, оно подлежит замене расчетным значением, являющимся достоверным. Это расчетное значение определяется подсчетом изменения кодов угла СКВТ первого и второго отсчетов в отдельности относительно последнего достоверного абсолютного ПВК угла. В результате формируется сразу две расчетные оценки текущего углового положения, которые также подвергаются проверке на достоверность по первому из критериев с выбором одной из них для выдачи в систему управления РК. Полученные расчетные значения ПВК угла по принципу их формирования являются инкрементными и не являются относительными, поскольку в рабочем состоянии ЦПУ-К будут содержать в себе информацию об абсолютном исходном нулевом положении.

Таким образом, даже при полном отказе в процессе работы ЦПУ-К одного из его СКВТ выработка достоверной информации об абсолютном угловом положении будет осуществляться до завершения его работы. Это позволяет не только предотвратить выдачу недостоверной информации в систему управления РК, но и повысить показатели безотказности ЦПУ-К в пределах сеанса работы.

На рис. 3 приведены результаты практической проверки ЦПУ-К с применением описанного способа выявления и исключения (нейтрализации) выработки недостоверных кодов в процессе текущего преобразования угла ЦПУ-К путем введения принудительной выработки недостоверных кодов – сбоев в работе ЦПУ-К, а также полное отключение одного из его отсчетов (СКВТ).

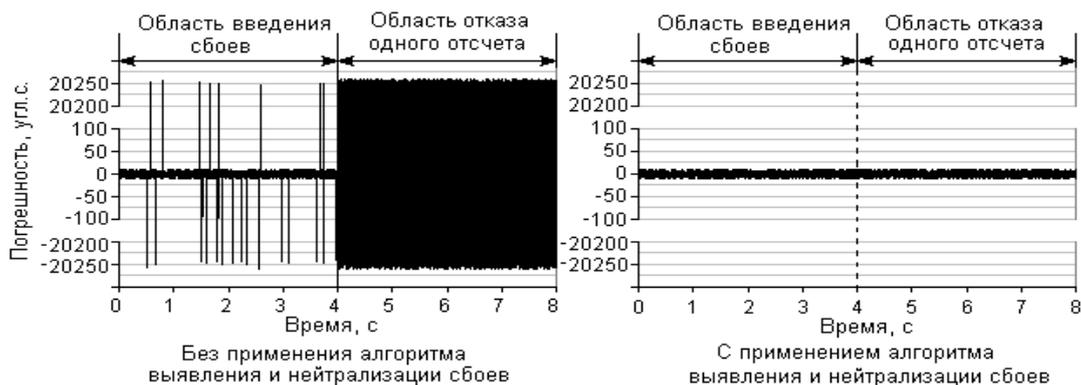


Рис. 3. Погрешность преобразования ЦПУ-К без применения и с применением алгоритма выявления и нейтрализации сбоев кода угла.

5. Заключение

ЦПУ-К, выполненный по описанным принципиальным и техническим решениям, обеспечивает высокоточное преобразование угловых перемещений при работе в составе управляемых электроприводов с ЭД повышенной мощности в условиях радиальной и осевой девиации их вала и высокоинтенсивных переменных электромагнитных полей. Одновременно, за счет программно-алгоритмического выявления и нейтрализации недостоверных кодов угла, ЦПУ-К обеспечивает текущее преобразование угловых перемещений в ПВК угла с высокой степенью устойчивости и стабильности.

Список литературы

1. Аксененко В.Д., Епифанов О.К., Зиненко В.М., Молочников А.А. Комплексные решения высокоточного цифрового преобразования угловых перемещений в аппаратуре межотраслевого применения // ВНИПК «Датчики и системы – 2006». Пенза: ФГУП «НИИ физических измерений», 2006. С. 263-273.
2. Епифанов О.К. Преобразование угловых перемещений крупногабаритных платформ в цифровой код // Судостроение. 2000. № 4. С. 39-44.
3. Аксененко В.Д., Епифанов О.К. Новое поколение высокоточных цифровых преобразователей угла // Измерительная техника. 2013. № 3. С. 15-19.
4. Епифанов О.К., Аксененко В.Д. Высокоточные преобразователи угла для информационно-управляющих систем различного назначения // 1-я ВНИПК «Устройства измерения, сбора и обработки сигналов в информационно-управляющих системах». Ульяновск: УлГТУ, 2011. С. 154-161.
5. Бохман Е.Л., Бурнашев М.Н., Филатов Ю.В. и др. Разработка и калибровка преобразователей угла с микропроцессорной автокоррекцией // Гироскопия и навигация. 2005. № 4. С. 72-82.
6. Епифанов О.К., Салова И.А. Моделирование и оценка устойчивости электромеханических устройств к электромагнитным полям и помехам методом конечных элементов // Материалы XXIX конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова. СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 398-402.
7. Епифанов О.К., Салова И.А. Анализ и оценка факторов, определяющих точность результатов компьютерного моделирования экранирующих свойств корпусов устройств // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017, том 17, № 2. С. 332-339.
8. Элементы прецизионных электроприводов и цифровых безредукторных следящих систем. <http://www.elektropribor.spb.ru/katalog/elementy-pre-tsizionnykh-elektroprivodov-i-tsifrovyykh-bezreduktornykh-sledyashc-hikh-sistem> (дата обращения 28.11.2023).
9. Епифанов О.К., Гречушкин Ю.В. Идентификация и коррекция недостоверных выходных кодов цифровых преобразователей угла // Материалы XXXI конференция памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н. Н. Острякова. СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 250-256.
10. Глаголев И.П., Дорохин Ю.П. Согласование отсчетов двухотсчетного позиционного преобразователя угол-код // Труды ФГУП «НПЦ АП». 2009. № 2. С. 28-31.