

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ 1310НМ025 В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА

Рассмотрены особенности проектирования системы автоматического управления двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата. Представлены алгоритмы обработки данных микросхемы 1310НМ025 производства АО «ПКК «Миландр», работающей в режиме следящего аналого-цифрового преобразователя сигналов синусно-косинусного вращающегося трансформатора с формированием кодов угла и скорости. Эта микросхема применена в качестве источника сигнала обратной связи по частоте вращения астатической системы управления динамическим моментом. Приведенные алгоритмы позволяют расширить разрешающую способность выходной координаты микросхемы, не ограничивая при этом входные сигналы по частоте вращения датчика. Два измерительных канала микросхемы настроены на разную разрешающую способность и принимают одинаковые модулированные сигналы указанного трансформатора, используемого в качестве датчика положения ротора. Таким образом, с помощью предлагаемого алгоритма сигналы двух измерительных каналов сведены с расширением разрядной сетки искомого сигнала частоты вращения при максимально возможной для микросхемы 1310НМ025 разрешающей способности. По отдельному алгоритму определено количество переполнений первого (точного) канала по сигналам второго (грубого) канала в момент включения прибора. При помощи этого же алгоритма проведен контроль правильности формирования частоты вращения в целом. Рассмотренная система реализована на полностью отечественной элементной базе. Программная реализация алгоритмов выполнена с использованием языка описания цифровой аппаратуры Verilog HDL. Разработанный макет преобразователя сигнала частоты вращения и всей системы управления динамическим моментом двигателя-маховика с обратной связью по скорости прошел лабораторные испытания с положительными результатами.

Ключевые слова: измерение частоты вращения, астатическая система управления, управляющий двигатель-маховик, программируемая логика, следящий аналого-цифровой преобразователь, динамический момент, ускорение, отечественная элементная база, система ориентации и стабилизации космического аппарата, вращающийся трансформатор, датчик положения ротора, цифровая система управления, сведение сигналов измерительных каналов, повышение разрядности.

ВВЕДЕНИЕ

Управляющие двигатели-маховики (УДМ) находят широкое применение в системах ориентации и стабилизации средних и малых космических аппаратов [1–4]. Основным управляющим воздействием для системы ориентации является динамический момент, который складывается из создаваемого электромеханическим преобразователем электромагнитного момента и суммы механических и аэродинамических моментов сопротивления вращению ротора УДМ [5, 6]. Очевидно, что для наилучшей работы таких систем необходимо, чтобы динамический момент мог регулироваться в широком диапазоне и не было статической ошибки, то есть во всем диапазоне скоростей должно быть сформировано одинаковое ускорение, соответствующее заданному коду управления.

В качестве электромеханического преобразователя используются двухфазные синхронные двигатели с постоянными магнитами и синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре, обладающие высокой степенью надежности, большим ресурсом, линейной механической характеристикой, а создаваемый ими электромагнитный момент прямо пропорционален току в фазах. Нагрузки механической части (маховик, подшипники, смазка) в целом имеют вентиляторный характер, а момент трогания обусловлен трением покоя подшипников и смазки. Эти факторы являются возмущающими воздействиями для УДМ. Вентиляторный характер нагрузки приводит к тому, что мо-

мент сопротивления увеличивается в квадратичной зависимости от частоты вращения вала. Это в результате приводит к снижению динамического момента на более высоких частотах вращения, за счет чего появляется ошибка регулирования по возмущению при управлении по току.

Момент трогания не позволяет использовать малые управляющие воздействия, так как создаваемого электромагнитного момента не хватает для его преодоления, вследствие чего возникает зона нечувствительности прибора. Эта проблема известна, достаточно подробно описана в литературе вместе со способами ее решения: использованием системы автоматического управления с обратной связью по частоте вращения [7] или углу [8–10]. Исходя из сказанного, предлагается система с обратной связью по частоте вращения и повышенной разрешающей способностью на основе отечественного преобразователя сигналов датчиков перемещения 1310НМ025 производства АО «ПКК «Миландр».

ОПИСАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Система подчиненного регулирования (рис. 1) включает в себя цифровой регулятор скорости (РС), реализованный на ПЛИС, и регулятор тока (РТ), задающий ток в фазах $I_{ф.удм}$ УДМ. Датчик тока (ДТ) формирует аналоговый эквивалент мгновенного тока в фазе двигателя в качестве обратной связи. Датчиком положения ротора (ДПР) служит синусно-косинусный вращающийся трансформатор, сигналы фаз которого преобразуются микросхемой 1310НМ025 в цифровые коды скорости и угла для РС. Выходными переменными системы являются динамический и кинетический моменты.

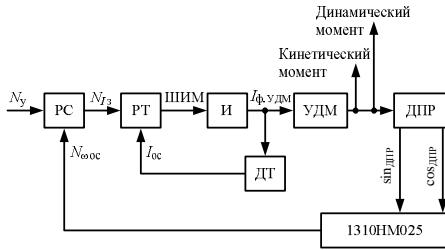


Рис. 1. Функциональная схема системы управления динамическим моментом

Динамический момент, являясь пропорциональной угловому ускорению величиной, задается с помощью кода управления N_y . Задающий интегратор преобразует постоянный сигнал задания динамического момента в линейно нарастающий сигнал задания частоты вращения $N_{\omega 3}$. Ограничение задания скорости необходимо для стабилизации частоты вращения по достижении ею определенного уровня. Регулятор скорости представляет собой пропорциональный регулятор с коэффициентом усиления K_P . Задание тока суммируется из кода управления N_y и выходного значения контура скорости при помощи устройства установки начального тока (рис. 2). Добавление N_y в сигнал задания тока сделано с целью увеличения быстродействия системы, поскольку создаваемый УДМ электромагнитный момент прямо пропорционален току. Устройство синхронизации скорости отслеживает сигнал задания тока и при его превышении приравнивает сигнал задающего интегратора к текущему коду скорости микросхемы 1310НМ025. Это преимущественно необходимо при включении прибора.

На рис. 1 и 2 приняты следующие обозначения: N_y – код управления (задание динамического момента/ускорения); $N_{\omega 3}$ – задание скорости; $N_{\omega с}$ – измеренный код скорости; $\Delta\omega$ – ошибка регулирования скорости; N_{I3} – задание тока; $N_{I3 \max}$ – максимальное задание тока.

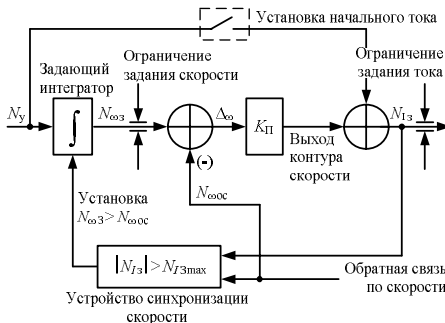


Рис. 2. Структурная схема регулятора скорости

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Микросхема 1310НМ025 предназначена для преобразования выходных сигналов синусо-косинусного вращающегося трансформатора в цифровые коды угла и частоты вращения. Последний используется в качестве сигнала обратной связи в системе управления динамическим моментом двигателя-маховика.

Микросхема имеет различные настройки разрешающей способности выходного цифрового кода скорости, которые задаются регистром $Vel_resolution$ в соответствии с табл. 1 и формулой (1), приведенными в спецификации [11]:

$$V = \frac{2^{Vel_resolution}}{4096 \cdot 65536} \cdot Vel \cdot f_{clk}, \quad (1)$$

где V – частота вращения ДПР, Гц; $Vel_resolution$ – регистр настройки разрядности кода скорости микросхемы; Vel – код скорости, выдаваемый микросхемой 1310НМ025; $f_{clk} = 1$ МГц – частота цикла преобразования микросхемы 1310НМ025.

Необходимый диапазон частот вращения ДПР разрабатываемой системы составляет ± 300 Гц. Он охватывается при $Vel_resolution = 2$, однако при этом система становится нечувствительной в диапазоне $\pm 0,0149$ Гц, вследствие чего время от подачи минимального кода управления до начала движения ротора становится выше допустимого для двигателя-маховика системы ориентации. Кроме того, увеличение веса младшего разряда ведет к увеличению веса ошибки управления, а вместе с этим и каждой единицы выходного сигнала корректирующего устройства, то есть более ярко проявляется дискретный характер системы, и она становится сложнее в настройке и медленнее в динамике.

Для достижения наилучших показателей динамики микросхемы 1310НМ025 необходимо установить $Vel_resolution = 0$ в измерительном канале скорости. При этом предлагается использовать оба канала с различной разрешающей способностью с целью обработки одинаковых входных сигналов для измерения частоты вращения. В первом канале с $Vel_resolution = 0$ получаем максимальную скорость в соответствии с формулой (1): $V = 122,066578$ Гц, а вес единицы младшего разряда – $0,003725$ Гц. Во втором канале $V = 3906,120394$ Гц. При настройке второго канала установлено $Vel_resolution = 5$ по причине того, что регистр скорости 3-й ревизии микросхемы 1310НМ025 переполняется при частотах вращения в 10 раз меньше указанных в табл. 1 [12]. При этом получаем максимальные скорости в первом и втором каналах микросхемы 3-й ревизии $\pm 12,2$ и $\pm 390,6$ Гц соответственно. Также следует отметить, что приведенные ниже алгоритмы и расчеты могут быть при необходимости адаптированы для применения в других ревизиях микросхемы и любых диапазонах требуемых скоростей без существенных сложностей.

Таблица 1
Настройка разрядности скорости микросхемы
1310NM25 при номинальной тактовой частоте f_{clk}

Vel_resolution	Максимальная частота вращения, Гц	Значение младшего разряда, Гц
0	± 122	0,0037
2	± 488	0,0149
3	± 976	0,0298
5	± 3904	0,1192
7	± 5000	0,4768
9	± 5000	1,9072
11	± 5000	7,6288
13	± 5000	30,5152

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОДА СКОРОСТИ

Вопрос переполнения регистра скорости остается открытым, так как максимальный код скорости $N_{\omega \max}$ (соответствующий частоте ДПП ω_{\max}) при малых значениях $Vel_resolution$ существенно ниже требуемой максимальной частоты вращения ДПП привода. При $Vel_resolution = 0$ максимальная допустимая частота ДПП $\omega_{\max} = \pm 122$ Гц при необходимых ± 300 Гц, а в 3-й ревизии регистр кода скорости переполняется при $\omega_{\max} = \pm 12,2$ Гц. Контроль скорости в заданном диапазоне обеспечивается алгоритмом (рис. 3).

На рис. 4 символом Vel обозначено цифровое значение необработанного кода скорости с точного канала, а $N_{\omega \text{ oc}}$ – полученного по вышеприведенному алгоритму кода частоты вращения расширенной разрядности и используемого в обратной связи корректирующего устройства. Символ N показывает номер диапазона (количество переполнений точного канала). Максимальный код регистра Vel , после которого он переполняется, обозначен как $N_{\omega \max}$.

Примем допущение, что при включении прибора частота вращения была нулевой (либо находилась в диапазоне, при котором $N=0$). Поскольку сигнал частоты ДПП является зашумленным, то в точках, обозначенных на рис. 2 «Переход 1» и «Переход 2», будет не одиночное, а многократное переполнение (дребезг). Для получения гладкого перехода используется следующая методика. Вычисляется разность между текущим и предыдущим отсчетами необработанного кода скорости Vel . Очевидно, что если эта разность близка или равна $2N_{\omega \max}$ (на практике можно использовать гораздо меньшее число), то произошло переполнение из отрицательной области в положительную (частота вращения ДПП уменьшилась), и наоборот, если разность около $-2N_{\omega \max}$, то переполнение произошло из положительной области в отрицательную (то есть частота увеличилась). Проблема дребезга кода скорости решается тем, что в случае ускорения количество переходов через переполнение будет нечетным. В то же время, если

при ускорении в точке перехода двигатель начал тормозиться, то количество переходов останется четным. Другими словами, четность или нечетность количества переходов через переполнение однозначно зависит только от того, вышел ли сигнал из переполнения в ту же полуплоскость, в которую и заходил, или же вышел с другой стороны. Имеются в виду положительная и отрицательная полуплоскости на графике Vel (рис. 4). Значение кода скорости для осуществления обратной связи $N_{\omega \text{ oc}}$ вычисляется по формуле

$$N_{\omega \text{ oc}} = Vel + N \cdot 2N_{\omega \max} + N, \quad (2)$$

где $N_{\omega \text{ oc}}$, о.е. – итоговый код скорости, используемый в качестве сигнала обратной связи; Vel , о.е. – код скорости точного канала микросхемы 1310NM25; N – количество переполнений регистра Vel (текущий номер интервала суммирования); $2N_{\omega \max}$, о.е. – абсолютное значение размера регистра Vel для микросхемы 1310NM25.

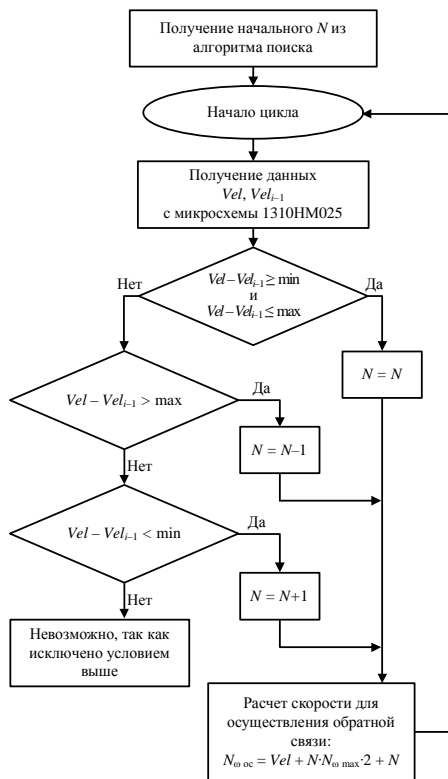


Рис. 3. Блок-схема алгоритма вычисления кода скорости

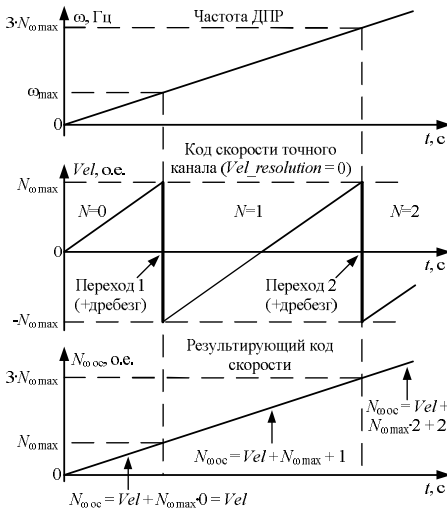
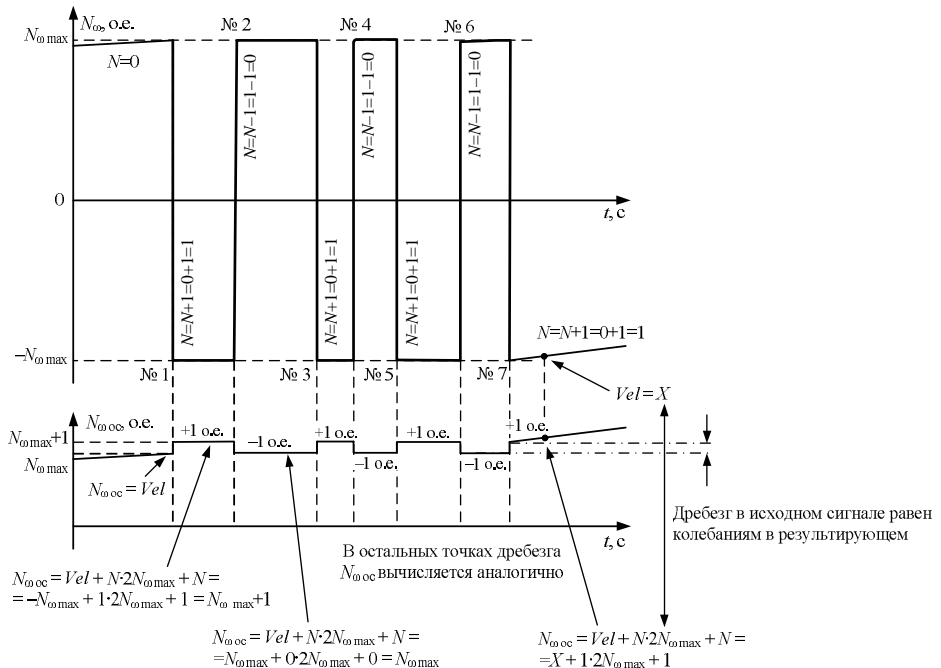


Рис. 4. Временные диаграммы работы алгоритма суммирования кода скорости

Для микросхемы 3-й ревизии $N_{0 \max} = 3276$ о.е., а для остальных ревизий $N_{0 \max} = 32767$ о.е.

Дребезг в моменты перехода сигнала точного канала скорости (с $Vel_resolution = 0$) возникает из-за зашумленности выходного кода скорости. Рассмотрим участок дребза более подробно (рис. 5).

На рис. 5 точки перехода из положительной области в отрицательную имеют нечетные номера, а из отрицательной области в положительную – четные. Если разность между текущим измеренным значением скорости Vel и предыдущим Vel_{i-1} меньше, чем максимально допустимое приращение скорости за интервал ее обновления с учетом зашумленности сигнала точного канала, то, очевидно, произошел переход из положительной области в отрицательную, и необходимо увеличить значение выходного кода счетчика интервалов суммирования N на единицу. Переход из отрицательной области в положительную осуществляется аналогично с уменьшением кода счетчика интервалов на единицу. Результирующий код $N_{0 \text{ oc}}$ по формуле (2) получится таким, каким было бы записанное в регистр Vel значение при отсутствии переполнения. Количество переходов при дребзе не играет роли, потому что переход в отрицательную область всегда нечетный. А это означает, что результирующий код счетчика N всегда будет больше либо меньше начального на единицу при многократном переходе через переполнение, остальные переходы вследствие дребза будут взаимно компенсированы.



АЛГОРИТМ ПОИСКА НАЧАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ

Вышеописанный алгоритм не учитывает поведение системы, если при включении прибора скорость была ненулевой (не в интервале $N=0$), и в этом случае код $N_{0\text{ос}}$ будет определен неправильно. Для устранения этой ошибки был разработан алгоритм определения начального участка скорости (рис. 6). Определить этот участок возможно, если использовать второй измерительный канал микросхемы 1310HM025 и подать на него тот же сигнал, что и на первый. Требуемые настройки микросхемы указаны в табл. 2.

В регистре $C2ResCtrl$ биты с 8-го по 11-й относятся к регистру $Vel_resolution$ второго канала. Их необходимо установить так, чтобы полный диапазон частоты ДПР попадал в диапазон кодов скорости в регистре Vel второго (грубого) канала скорости (± 3276 о.е. и ± 32767 о.е. для 3-й и остальных ревизий соответственно).

Алгоритм начинает свою работу в случае, если при включении код скорости грубого канала составляет больше $N_{0\text{max}2}$. Расчет кода счетчика интервалов подчиняется следующей зависимости (для случая, когда $|Vel2| > N_{0\text{max}2} + \Delta$):

$$N = \frac{|Vel2| - (N_{0\text{max}2} + \Delta + 1)}{2N_{0\text{max}2}} + 1, \quad (3)$$

где N – код счетчика количества переполнений регистра Vel (текущий номер интервала суммирования); $Vel2$ – код скорости грубого канала; $N_{0\text{max}2}$ – код скорости грубого канала, при котором происходит первое переполнение точного канала (при $N=0$); $2N_{0\text{max}2}$ – код скорости грубого канала, соответствующий диапазону переполнения точного канала (полный диапазон точного канала от минимального отрицательного значения до максимального положительного).

Для 3-й ревизии используется $Vel_resolution = 5$. Частоте ДПР 300 Гц соответствует код 2518 о.е. по грубому каналу, а частоте $\omega_{\text{max}}=12,2$ Гц, при которой точный (первый) канал с $Vel_resolution = 0$ переполняется первый раз, – код грубого канала $N_{0\text{max}2}=102$ о.е.

Необходимо учесть тот факт, что грубый канал также является зашумленным и имеет дрейбзг такого же рода, как и точный. Для этого нужно рассматривать не точки грубого канала, при которых происходит переполнение точного, а их окрестности $\pm\Delta$, заведомо выбрав это значение больше уровня шума. Поиск начального интервала скорости выполняется по алгоритму (рис. 6) один раз после включения, и по окончании его работы коду счетчика интервалов суммирования сигнала скорости точного канала присваивается значение N . Далее работа алгоритма суммирования кода скорости продолжается уже с этим значением в качестве начального. Вследствие параллельной архитектуры синтезированного на ПЛИС устройства возможно использование данного алгоритма в режиме реального времени совместно с цифровым регулятором с целью отслеживания и коррекции ошибок формирования кода скорости в целом.

Таблица 2

Настройки 1310HM025 для работы алгоритма поиска начального значения

Наименование регистра	Значение в двоичном коде
<i>AFE_conf</i>	0100 0000 0101 1011
<i>Mode_stat</i>	1010 1111 0100 1111
<i>C1Ctrl</i>	1010 0010 0001 0100
<i>C2Ctrl</i>	0010 1010 0000 1110
<i>C2ResCtrl</i>	0000 0101 1100 0010

В начальный момент времени, когда двигатель возвращается с некоторой скоростью, возможны следующие варианты численного значения частоты ДПР:

- на интервале непрерывности кода скорости по точному каналу за пределами Δ -окрестности;
- в окрестности точки переполнения точного канала $\pm\Delta$.

В первом случае необходимо провести расчет начального значения N по формуле (3). В случае если $Vel2 \leq N_{0\text{max}2} + \Delta$, необходимо принять $N = 0$ (см. рис. 6). Знак кода счетчика интервалов N берется таким же, как и знак кода скорости грубого канала $Vel2$. Для этого достаточно подставить старший бит кода $Vel2$ вместо старшего бита кода N . На этом работа алгоритма поиска начального интервала суммирования заканчивается, далее работает основной алгоритм.

Во втором случае необходима проверка дополнительных условий. После вычисления начального значения N необходимо вычислить код скорости грубого канала, соответствующий частоте вращения СКВТ, при которой код скорости точного канала переполняется. Расчет выполняется по формуле

$$res = 2N_{0\text{max}2}N + N_{0\text{max}2}, \quad (4)$$

где N – начальный номер интервала суммирования, $N_{0\text{max}2}=102$ для 3-й ревизии.

Код счетчика интервалов N не может колебаться более чем на единицу только в одну сторону, то есть в окрестности точки перехода (где и происходит дрейбзг) могут быть только два известных значения N , причем одно из них вычисляется по формуле (3). А второе либо больше, либо меньше на единицу в зависимости от направления вращения и, соответственно, знаков $Vel2$ и N . Если двигатель вращался при включении в зоне дрейбзга в положительном направлении (определяется по грубому каналу), а также скорость точного канала была $Vel > 0$ в зоне дрейбзга, то фактически либо переход еще не произошел, либо имеется дрейбзг, но при включении расчет по алгоритму совпал по времени со скачком в положительную область. Тем не менее такая ситуация должна рассцениваться как отсутствие переполнения. В этом случае принимается значение N , вычисленное по формуле (3). Если $Vel < 0$ в зоне дрейбзга, то либо произошел переход (устойчивый, уже без дрейбзга), либо аналогично с предыдущим случаем вычисление совпало с точкой дрейбзга в отрицательную сторону, и необходимо принять за начальное значение кода счетчика число $N+1$,

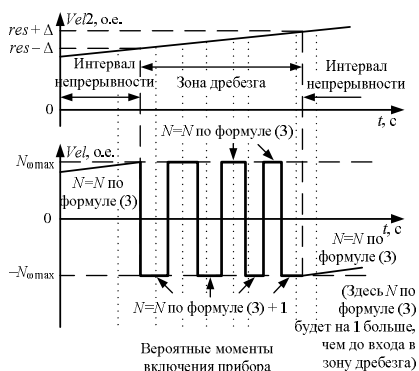


Рис. 7. Временные диаграммы работы алгоритма поиска начальной скорости

РЕЗУЛЬТАТЫ

Представленная система автоматического управления прошла лабораторные испытания. Работа регулятора скорости и тока показана на рис. 8. На рисунке приведены осциллограммы тока в фазе УДМ и выходного сигнала регулятора скорости (задание тока) при мгновенном изменении задания ускорения на максимальное значение. Максимальное пререгулирование составляет 32 %, время регулирования 350 мс. Качество переходных процессов является удовлетворительным.

Результаты работы алгоритма суммирования получены с использованием программы-терминала персонального компьютера (рис. 9).

Проверка работоспособности алгоритма поиска начальной скорости выполнялась следующим образом. Производилось включение прибора, осуществлялась подача кода управления, одновременно с этим отключалось и вновь подключалось питание прибора. В программе-терминале в моменты времени, соответствующие

отключению прибора, значение кода скорости отображалось как нулевое (рис. 10). Из рисунков видно, что предлагаемая система формирователя кода частоты вращения верно определяет начальную частоту ДПР при включении прибора, а также выполняет суммирование участков кода скорости, полученных от микросхемы 1310НМ025.

При максимальной частоте вращения ДПР ± 300 Гц код скорости, полученный в результате работы алгоритма, $N_{\text{ос}}$ составляет 80576 о.е. и является 18-разрядным.

Применение микросхемы 1310НМ025 позволяет существенно сократить количество используемых ЭРИ за счет встроенного в нее цифрового генератора синусоидального сигнала для питания обмотки возбуждения ДПР, а также отсутствия необходимости использования демодуляторов выходных сигналов ДПР. Микросхема имеет два измерительных канала, что делает ее уникальной в своем роде по сравнению с аналогами К5331НХ055 и АД2S1210. Кроме того, это единственная отечественная микросхема преобразования сигналов датчиков перемещения, являющаяся радиационно-стойкой.

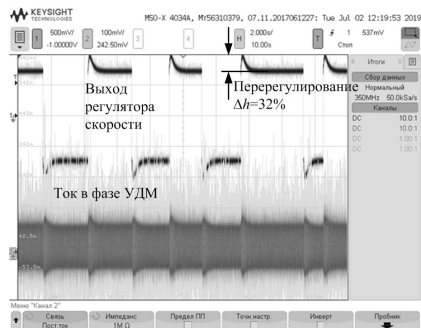


Рис. 8. Осциллограммы выходного сигнала регулятора скорости и тока в фазе УДМ

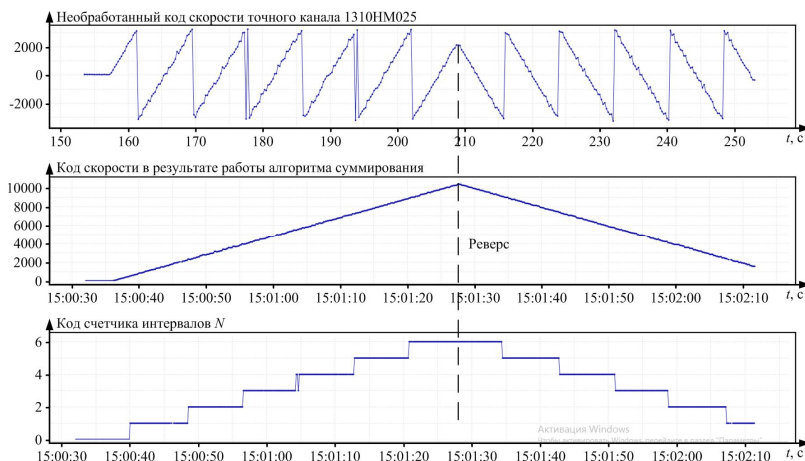


Рис. 9. Результат работы алгоритма суммирования кода скорости

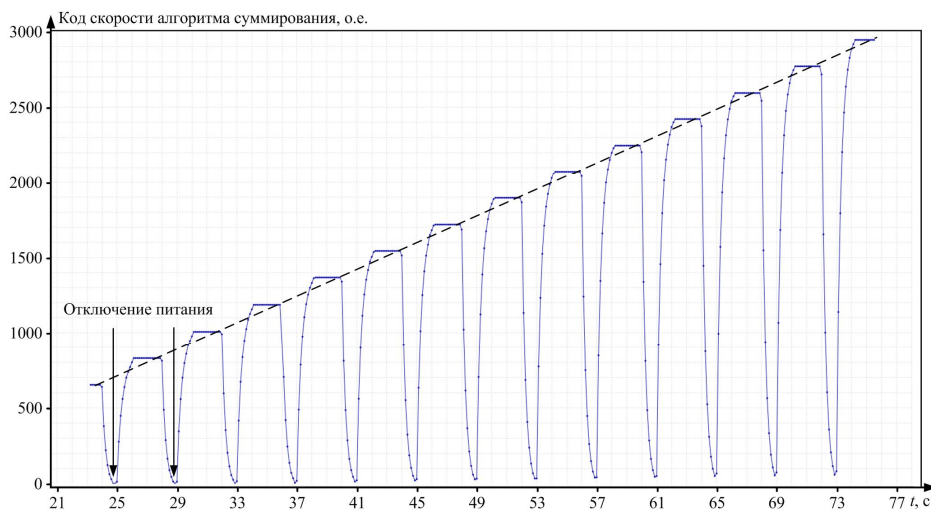


Рис. 10. Фрагмент проверки алгоритма поиска начальной скорости

Микросхему можно использовать в системе с обратной связью по углу вместо применения алгоритма CORDIC, который требует существенных вычислительных ресурсов ПЛИС – 515 логических ячеек (при реализации последовательного алгоритма с 8-ю итерациями и 14-битными переменными), что составляет 18% от их общего количества для микросхемы 5576XC6T. Кроме того, преобразователь 1310NM025 предоставляет более высокую точность измерения угла (16 бит) благодаря наличию следящего контура в своей структуре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые алгоритмы решают поставленную задачу определения частоты вращения с повышенной разрешающей способностью. Удалось получить минимальный вес младшего разряда кода скорости (0,0037 Гц), используемого в качестве сигнала обратной связи, сохранив при этом работоспособность прибора в необходимом диапазоне частот вращения ДПР ± 300 Гц (что соответствует частоте маховика ± 75 Гц). Предложенный метод обработки данных с микросхемы 1310NM025 позволяет обходить аппаратные ограничения без потери точности ее работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иосифьян А.Г. Электромеханика в космосе. М.: Знание, 1997. 64 с.
2. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976. 670 с.
3. Игнатов А.И., Давыдов А.А., Сазонов В.В. Анализ динамических возможностей систем управления малым космическим аппаратом, построенных на базе двигателей-маховиков. М., 2005. (Препринт / ИПМ им. М. В. Кел-

дыша РАН; № 47).

4. Бронзов С.А., Марарескул А.В. Автоматизированное проектирование электромеханических систем: учеб. пособие по теоретической подготовке. Красноярск: СФУ, 2009. 122 с.
5. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов: учеб. пособие для вузов. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 279 с.
6. Моделирование моментов нагрузки электродвигателей в MATLAB Шрейнер Р.Т. [и др.] // Молодой ученый. 2010. Т. 1. № 8(19). С. 6–12.
7. Якимовский Д.О. Повышение точности управления моментом двигателя-маховика // Гироскопия и навигация. 2008. № 3(62). С. 46–52.
8. Цифровой астатический электропривод систем ориентации и стабилизации космических аппаратов / Н.Н. Балковой [и др.] // Доклады ТУСУР. 2014. № 3(33). С. 168–175.
9. Балковой Н.Н., Михальченко Г.Я. Эталонная цифровая модель управляющего двигателя-маховика системы ориентации и стабилизации космического аппарата // Доклады ТУСУР. 2014. № 3(33). С. 161–167.
10. Балковой Н.Н. Анализ особенностей применения двигателей-маховиков с компенсацией собственных помеховых моментов // Вестник Московского авиационного института. 2018. Т. 25. № 3. С. 203–210.
11. Микросхема преобразователя сигналов датчиков перемещения 1310NM025, K1310NM025, K1310NM025K. Спецификация. Версия 2.1.0 от 14.03.2019 [Электронный ресурс]. URL: https://ic.milandr.ru/products/atsp_i_tsap/1310nm025/#docs_tab, свободный.
12. Ошибки в микросхемах 1310NM025, 1310NM025 Errata Notice. Версия от 07.06.2019 [Электронный ресурс]. URL: https://ic.milandr.ru/products/atsp_i_tsap/1310nm025/#docs_tab, свободный.

Поступила в редакцию 15 сентября 2019 г.

DOMESTIC RESOLVER-TO-DIGITAL CONVERTER 1310NM025 APPLICATION POSSIBILITIES IN REACTION WHEEL ASSEMBLY CONTROL SYSTEM

Viktor A. Russkin

Design engineer, Research Division of the Automation Department, JSC "Scientific & Industrial Centre "Polyus", Tomsk, Russia. E-mail: vrsskn@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9251-1761>.

Nikolay N. Balkovoy

Ph.D. (Engineering), Principal engineer, Research Division of the Automation Department, JSC "Scientific & Industrial Centre "Polyus", Tomsk, Russia. E-mail: balkovoy.nn@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3214-2567>.

Alexander N. Butakov

Head of the laboratory, Research Division of the Automation Department, JSC "Scientific & Industrial Centre "Polyus", Tomsk, Russia.

The work is dedicated to reaction wheel assembly automatic control system design as a part of spacecraft orientation system. The data processing algorithms for resolver-to-digital converter 1310NM025 output signals are given in this paper. This chip is used as a feedback signal source in dynamic rotary torque control system. Two measuring channels of the chip are involved. They are configured to receive the same input resolver signals with different resolutions (fine and coarse ones). Thus, the algorithms are used for the maximum output signal resolution expanding by mixing fine and coarse channel measurement results. The first algorithm adds up the fine channel rotation speed value depending on its overflows number. The second algorithm is necessary for setting initial rotation speed measurement of the first one when the system starts. It is also needed to make sure that rotation speed measurement is working correctly during reaction wheel assembly operation. Thus, the increased digital velocity signal resolution can be achieved without limiting rotation speed of resolver by using the above methods. The considered system is fully implemented by using domestic electronic components, which also includes the 1310NM025 chip developed by Milandr Inc. and field-programmable gate array 5576XC6T. Verilog HDL has been used for the above algorithms digital implementation. The designed rotation speed measurement prototype and the whole system positive experiment results were obtained.

Keywords: rotation speed measurement, a static control system, reaction wheel assembly, field-programmable gate array, resolver-to-digital converter, dynamic torque control, acceleration control, 1310NM025 chip, spacecraft orientation and stabilisation system, resolver, rotor position detector, digital control system, measuring channels mixing, resolution increasing method.

REFERENCES

1. Iosifyan A.G. *Elektromekhanika v kosmose* [Electromechanics in space]. Moscow, Znanie Publ., 1997. 64 p. (In Russian)
2. Ikhinskii A.Yu. *Orientatsiya, giroskopi i inertial'naya navigatsiya* [Orientating, gyroscopes and inertial navigation]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 670 p. (In Russian)
3. Ignatov A.I., Davydov A.A., Sazonov V.V. The analysis of dynamic capabilities of the control systems by the spacecraft built on the basis of the reaction wheels. *Preprinty IMP imeni Keldysha* [Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science, 2005, no. 47]. (In Russian)
4. Bronov S.A., Maraeskul A.V. *Avtomatizirovannoe proektirovanie elektromekhanicheskikh sistem* [Automated design of electromechanical systems]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2009. 122 p. (In Russian)
5. Shreiner R.T. *Sistemy podchinennogo regulirovaniya elektropriivodov* [Systems of subordinate regulation of electric drives]. Yekaterinburg, Russian State Professional and Pedagogical University, 2008. 279 p. (In Russian)
6. Shreiner R.T., Emelyanov A.A., Klishin A.V., Medvedev A.V. Simulation of load torque of electric motors in MATLAB. *Molodoy uchenyi* [Young scientist], 2010, no. 8(19), vol. 1, pp. 6-12. (In Russian)
7. Yakimovskii D.O. Increasing accuracy of motor-handwheel moment control. *Gyroskopiya i Navigatsiya* [Gyroscopy and navigation], 2008, no. 3(62), pp. 46-52. (In Russian)
8. Balkovoy N.N., Muravyatkin Yu.E., Lyanzburg V.P., Mikhalkchenko G.Ya. Digital astatic electric drive of the spacecraft orientation and stabilization system. *Doklady Tomskogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2014, no. 3(33), pp. 168-175. (In Russian)
9. Balkovoy N.N., Mikhalkchenko G.Ya. Digital reference model of the reaction wheel used in a spacecraft orientation and stabilization system. *Doklady Tomskogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* [Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics], 2014, no. 3(33), pp. 161-167. (In Russian)
10. Balkovoy N.N. Analysis of application specifics of a reaction wheel with intrinsic disturbing moments compensation. *Vestnik Moskovskogo Aviatsonnogo Instituta* [Aerospace MAI Journal, 2018, no. 3, vol. 25, pp. 203-211]. (In Russian)
11. 1310NM025 Technical reference 2.1.0. https://ic.milandr.ru/products/atasp_i_tsap/1310nm025/#docs_tab
12. 1310NM025 Errata (07.06.2019) https://ic.milandr.ru/products/atasp_i_tsap/1310nm025/#docs_tab

Русский В.А., Балковой Н.Н., Бутаков А.Н. Возможности применения отечественного преобразователя сигналов датчиков перемещения 1310NM025 в системе управления двигателя-маховика // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4(45). С. 12-20. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(45\)-12-20](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(45)-12-20)

Russkin V.A., Balkovoy N.N., Butakov A.N. Domestic Resolver-to-Digital Converter 1310NM025 Application Possibilities in Reaction Wheel Assembly Control System. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 4(45), pp. 12-20. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(45\)-12-20](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(45)-12-20)