

контроле параметров МИП не требуется сложное оборудование и длительная обработка результатов измерений.

Выполнен сравнительный анализ систематических погрешностей при контроле воздействия на мишень импульсных ионных пучков гигаватной мощности по плотности ионного тока и по плотности энергии [4]. Показано, что измерение плотности энергии обеспечивает более корректную и полную информацию. Мощный ионный пучок имеет широкий спектр энергии ионов и сложный элементный состав. Измерение плотности энергии МИП позволяет определить интегральное (за длительность импульса) тепловое воздействие всех ионов, не зависящее от их кинетической энергии и степени ионизации.

Выполненные исследования поддержаны РФФИ, грант 19-38-90001.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Isakova Y.I., Pushkarev A.I. Visualization and analysis of pulsed ion beam energy density profile with infrared imaging // *Infrared Physics & Technology*. – 2018. – V. 89. – P. 140–146.
2. Pushkarev A.I., Isakova Yu.I., Xiao Yu, Khailov I.P. Characterization of intense ion beam energy density and beam induced pressure on the target with acoustic diagnostics // *Review of Scientific Instruments*. – 2013. – V. 84. – № 8. – Article number 083304.
3. Pushkarev A.I., Isakova Y.I., Prima A.I. High-intensity pulsed ion beam composition and the energy spectrum measurements using the time-of-flight method // *Laser and Particle beams*. – 2018. – V. 36. – № 2. – P. 210–218.
4. Пушкарев А.И., Исакова Ю.И., Хайлов И.П. Анализ корректности диагностики мощного ионного пучка по плотности ионного тока // *Приборы и техника эксперимента*. – 2015. – № 5. – С. 91–98.

## СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ-МАХОВИКА В КОД

В.А. Пасько, А.И. Солдатов, О.Ю. Завьялова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Томский университет систем управления и радиоэлектроники  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

## METHOD OF CONVERSION OF THE FLYWHEEL SPEED INTO THE CODE

V.A. Pasko, A.I. Soldatov, O.Yu. Zavialova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin  
str., 40, 634050

E-mail: paskovasiliy@mail.ru

***Annotation.** The conversion of the flywheel speed into a code is an important task for controlling the main characteristics in the system of orientation and stabilization of spacecrafts. Existing methods of conversion do not provide necessary speed and accuracy in the operation of the system. Solution to the problem is proposed by simple trigonometric transformations. The principle of constructing, an algorithm of its operation, means of implementation such system is considered.*

Во время управления двигателем-маховиком (ДМ) его скорость вращения может изменяться в большом диапазоне от крайнего положительного до крайнего

отрицательного значения, принимая в том числе нулевое и околонулевые значения. Для контроля угловой скорости ДМ используются сигналы, формируемые синусно-косинусным датчиком положения ротора. Одной из задач при работе с этим сигналом является его преобразование в цифровой код с формированием знака направления скорости вращения. Применение известных способов прямого и обратного счета [1] в данном случае сопряжено с появлением больших временных интервалов преобразования в околонулевой области скоростей вращения, в результате чего их применение становится невозможно.

Данную проблему предлагается решить суммированием частоты  $f_x$  с фиксированной опорной частотой  $f_0$ , что позволит ограничить максимальный временной интервал кодирования.

Функциональная схема предложенного преобразователя (рисунок 1) содержит синусно-косинусный датчик положения ротора (ДПР), аналогово-цифровые преобразователи (АЦП1, АЦП2), ПЛИС, включающая преобразователь частоты (ПЧ); синусно-косинусный генератор опорной частоты (ГОЧ), формирователь кода периода (ФКП) и flash-память.

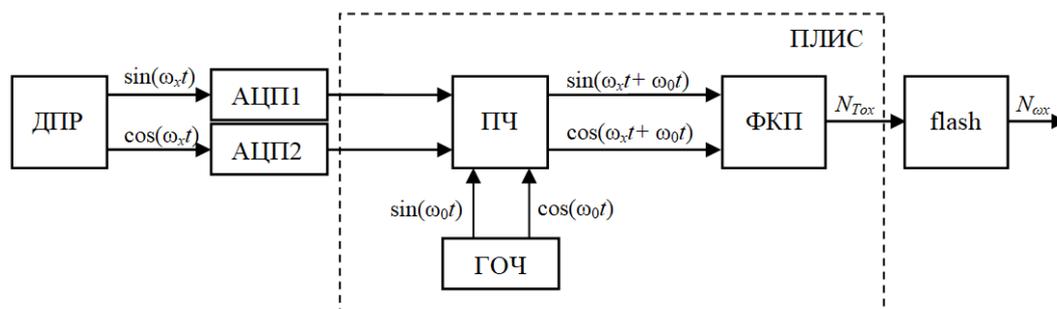


Рис. 1. Функциональная схема преобразователя частота-код

Сигналы ДПР  $\sin(\omega_x t)$ ,  $\cos(\omega_x t)$  поступают на входы АЦП, оцифровываются и передаются в ПЛИС, где увеличиваются на опорную частоту. ГОЧ, реализованный в ПЛИС, формирует сигналы  $\sin(\omega_0 t)$ ,  $\cos(\omega_0 t)$ , которые используются для формирования сигналов  $\sin(\omega_x t + \omega_0 t)$ ,  $\cos(\omega_x t + \omega_0 t)$  с помощью тригонометрических преобразований [2] согласно выражениям:

$$\begin{aligned} \sin(\omega_x t + \omega_0 t) &= \sin(\omega_x t)\cos(\omega_0 t) + \sin(\omega_0 t)\cos(\omega_x t); \\ \cos(\omega_x t + \omega_0 t) &= \cos(\omega_x t)\cos(\omega_0 t) - \sin(\omega_x t)\sin(\omega_0 t). \end{aligned}$$

При переходе сигналов  $\sin(\omega_x t + \omega_0 t)$ ,  $\cos(\omega_x t + \omega_0 t)$  через нуль формируются импульсы короткой длительности, которые перезапускают цикл счета ФКП. ФКП подсчитывает количество импульсов тактовой частоты за временной промежуток между двумя импульсами короткой длительности, в результате чего на его выходе формируется код периода  $N_{Tox}$  преобразованных сигналов. Полученный код является адресом ячейки flash-памяти, в которой содержатся возможные значения кодов частоты  $N_{ox}$ . В результате считывания данных из ячейки на выходе ПЛИС формируется 16-разрядный код частоты вращения ДМ.

Алгоритм формирования сигнала знака скорости вращения (ЗСВ) при реверсе ДМ показан на рисунке 2.

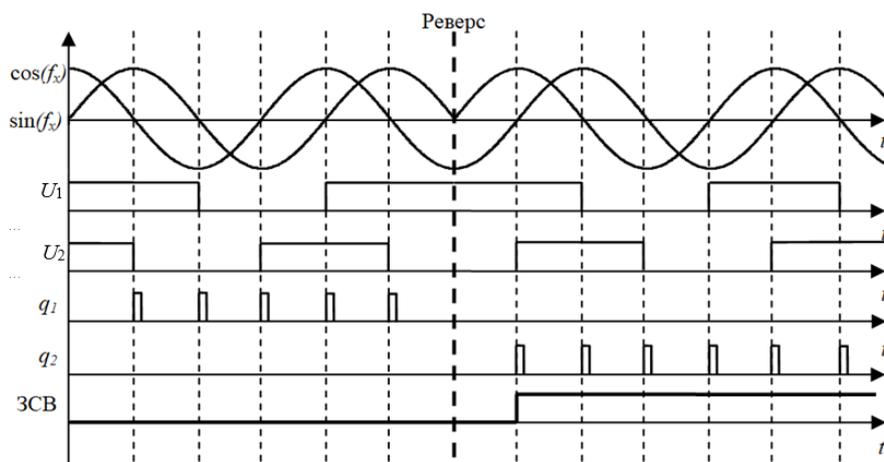


Рис. 2. Алгоритм определения сигнала «ЗСВ»

При помощи цифровых компараторов сигналы  $\sin(\omega_x t)$ ,  $\cos(\omega_x t)$  преобразуются в прямоугольные сигналы  $U_1$  и  $U_2$ . В моменты изменения сигнала  $U_1$  его значение сравнивается со значением сигнала  $U_2$ , а при изменении сигнала  $U_2$  его значение сравнивается со значением сигнала  $U_1$ . При положительном значении кинетического момента передний фронт сигнала  $U_1$  попадает в единицу, а задний фронт в нуль сигнала  $U_2$ . В случае изменения сигнала  $U_2$  его передний фронт попадает в нуль, а задний фронт в единицу сигнала  $U_1$ . В случае выполнения этих условий происходит формирование сигналов короткой длительности  $q_1$ . При отрицательном значении кинетического момента условия для сигналов  $U_1$  и  $U_2$  меняются и происходит формирование сигналов короткой длительности  $q_2$ . При появлении сигнала  $q_1$  сигналу «ЗСВ» присваивается значение «0», а при появлении сигнала  $q_2$  значение «1».

Предложенное решение реализовано в макете на ПЛИС фирмы EP4CE6E22C8 семейства Cyclone IV E фирмы Altera. Макет подтверждает адекватность разработанных алгоритмов и подтверждает их работоспособность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микросхемы интегральные 1512ПС11Т: технические условия. АЕЯР.431320.599 ТУ. – Минск: ОАО «Интеграл», 2008. – 82 с.
2. Шумейко А.А., Смородский В.А. Применение дискретного тригонометрического преобразования в цифровой обработке сигналов. // Современные информационные и электронные технологии. – 2016. – Т. 1. – № 17. – С. 10–11.