

## **Особенности температурной компенсации в микромеханическом гироскопе с кольцевым резонатором и цифровой системой управления**

*С.Ю. Иванов*

Центральный научно-исследовательский институт химии и механики им. Д.И. Менделеева

Микроэлектромеханические (МЭМ) гироскопы, предназначенные для измерения угловой скорости, находят широкое применение в потребительском сегменте. По мере повышения точности и приближения к тактическому классу инерциальных датчиков происходит существенное расширение области применения МЭМ гироскопов с улучшенными характеристиками. Одним из наиболее существенных источников погрешности измерения угловой скорости для МЭМ гироскопов является смещение нулевого сигнала при изменении температуры. Для уменьшения данной погрешности может быть реализована система термостабилизации или температурной компенсации выходного сигнала. Система термостабилизации требует значительных энергозатрат, снижающих эффективность МЭМ гироскопа, поэтому целесообразно проведение компенсации выходного сигнала по показаниям датчика температуры. Использование внешнего датчика температуры не позволяет достичь необходимого уровня точности, особенно в условиях переходных процессов для которых характерны большие температурные градиенты. Для устранения этого эффекта широкое распространение получили датчики температуры, встроенные в специализированную интегральную схему управления МЭМ гироскопом (например, в линейке гироскопов компании Analog Devices). Однако из-за особенностей вакуумной герметизации кольцевого резонатора схема управления размещается вне корпуса, что делает особенно актуальной температурную компенсацию непосредственно по параметрам чувствительного элемента для данного типа МЭМ гироскопа.

Для температурной компенсации выходного сигнала может быть использована зависимость частоты или добротности контура первичных колебаний от температуры [1]. В случае разработанной цифровой системы управления [2] для получения данных о температуре не требуется дополнительных действий. Собственная частота в текущий момент времени отслеживается контуром полностью цифровой фазовой автоподстройки частоты, а величина прикладываемого для поддержания колебаний усилия (обратно пропорциональная добротности контура) определяется регулятором автоматической регулировки усиления. Т.к. оба параметра представлены в цифровом виде, требуется лишь построение калибровочной зависимости выходного сигнала, обычно аппроксимируемое полиномом третьей степени.

Для подтверждения возможности реализации данного метода температурной компенсации были проведены испытания в климатической камере. Для МЭМ гироскопа с кольцевым резонатором смещение собственной частоты составило  $-0,41 \text{ Гц}/^\circ\text{C}$  при номинальной частоте  $14260 \text{ Гц}$ . Разрешающая способность при времени усреднения  $1 \text{ Гц}$  составила  $0,002^\circ\text{C}$ , что сопоставимо с образцами специализированных МЭМ термометров. Сравнение показаний внешнего температурного датчика (разрядность 12 бит) со значениями, полученными по изменению частоты первичных колебаний приведена на рис. 1.

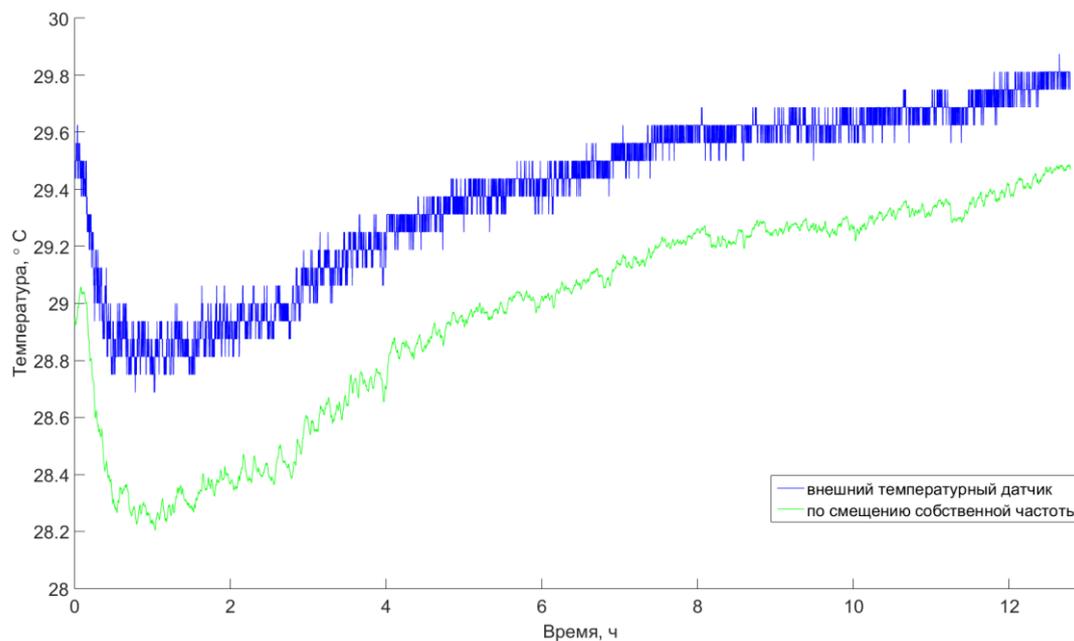


Рис. 1. Сравнение показаний внешнего температурного датчика со значениями, полученными по изменению частоты первичных колебаний

### Литература

1. *Prikhodko I.P., Trusov A.A., Shkel A.M.* Compensation of drifts in high-Q MEMS gyroscopes using temperature self-sensing // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2013. – V. 201. – P. 517–524.
2. *Иванов С.Ю.* Разработка цифровой электронной подсистемы микромеханического гироскопа с кольцевым резонатором // *Труды МФТИ*. – 2016. – № 8. – С. 143–153.