

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ ДАТЧИКОВ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

Королёв М.Н.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Цель статьи. В статье рассматриваются основные характеристики датчиков угловой скорости (ДУС), классифицированных по различным физическим принципам. Отмечены основные их достоинства и недостатки, перспективы развития, а также области их применения. В заключении приводятся характеристики ДУС, которые позволяют осуществить обоснованный выбор датчика, в зависимости от решаемой задачи.

В настоящее время наиболее совершенными ДУС являются приборы, созданные на новых физических принципах (микромеханические гироскопы (ММГ), динамически настраиваемые гироскопы (ДНГ), волоконно-оптические гироскопы (ВОГ), лазерные гироскопы (ЛГ), твердотельные волновые гироскопы (ТВГ) и т. д.). Выходной характеристикой ДУС является напряжение или частота переменного тока, пропорциональные угловой скорости вращения. Основным показателем точности ДУС является погрешность измерения угловой скорости, которая обусловлена различными причинами (конструктивными, эксплуатационными, технологическими, температурными и др.).

Микромеханические гироскопы. ММГ относятся к вибрационному классу ДУС. В ММГ энергия вынужденных первичных колебаний инерционной массы на упругом подвесе при появлении переносной угловой скорости преобразуется в энергию вторичных колебаний, которые содержат информацию об измеряемой угловой скорости [1].

Достоинства ММГ:

1. Малые массогабаритные характеристики (здесь и далее в скобках будут указаны некоторые параметры ДУС различных модификаций; модификация L3GD20H фирмы STMicroelectronics (Швейцария) имеет размеры $3 \times 3 \times 1$ мм) [2];
2. Низкое энергопотребление (напряжения питания большинства ММГ не превышает 5 В);
3. Высокая технологичность производства;
4. Высокая стойкость к внешним воздействиям.

Недостатки ММГ:

1. Высокая погрешность измерений (до 10^0 %/ч);
2. Чувствительность к линейным ускорениям;
3. Использование резонансного режима работы;
4. Необходимость подключения дополнительных корректирующих устройств;
5. Низкая стабильность нуля;
6. Температурный гистерезис нуля;

7. Низкая стабильность систематического дрейфа.

ММГ широко применяются в промышленности (автомобильные системы стабилизации, измерительное оборудование, системы стабилизации камер, геодезические системы, контроль рельсового пути, робототехника и др.). ММГ применяются также в качестве чувствительного элемента (ЧЭ) в индикаторных гиросtabilизаторах. Для авиационных и корабельных систем рассмотренные погрешности ММГ не являются приемлемыми [3].

Динамически настраиваемые гироскопы. ДНГ – трехстепенной гироскоп с внутренним упругим кардановым подвесом. ДНГ имеет две входные оси, которые взаимно ортогональны и лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения гироскопа. Специфической особенностью ДНГ является возможность точной и стабильной компенсации угловой жесткости упругих элементов подвеса инерционным моментом кольца при отклонении ротора относительно оси приводного вала. Точная компенсация обеспечивается при выполнении так называемого условия динамической настройки [4].

Достоинства ДНГ:

1. Высокие точностные характеристики (порядка $0,01-0,1^0$ %/ч);
2. Технологичность конструкции;
3. Большой ресурс работы (от 10000 часов);
4. Повышенная надежность;
5. Возможность функционирования в широком диапазоне температур (от -55 до 120^0 С);
6. Малая потребляемая мощность.

Недостатки ДНГ:

1. Меньшие ударостойкость и вибропрочность;
2. Вариативность вида передаточной функции ДНГ на низких частотах при изменении условий функционирования затрудняет построение контуров стабилизации прибора;
3. Низкая помехозащищенность усилительно преобразующего тракта в контурах стабилизации в результате наличия в выходном сигнале ДНГ квадратурных составляющих [5].

ДНГ широко применяют в качестве ЧЭ курсовертикалей и гиросtabilизаторов различного назначения, в авиации, наземной спецтехнике, автомобилестроении, в добывающей промышленности, в инклинометрии, и др.

Лазерные гироскопы. Лазерный гироскоп представляет собой оптический квантовый генератор с кольцевым резонатором. В данном

приборе носителем информации об угловой скорости является один из параметров световой волны, бегущей по замкнутому контуру.

Достоинства ЛГ:

1. Низкий дрейф (до $0,1 \text{ } ^\circ/\text{ч}$);
2. Низкая чувствительность к перегрузкам;
3. Удобный выходной управляющий сигнал;
4. Малое время готовности.

Недостатки ЛГ:

1. Наличие зоны нечувствительности;
2. Трудность калибровки;
3. Высокие массогабаритные характеристики ($\varnothing 20,6 \times 10,5 \text{ см}$, 4 кг – модификация ГЛ-1 производителя ОАО «РПЗ» (Россия) [6];
4. Высокая стоимость.

Но при этом ЛГ широко применяются, прежде всего, в системах навигации, на борту летательных аппаратов, для систем управления движением различных объектов и др.

Волоконно-оптические гироскопы. Принцип действия ВОГ основан на эффекте, открытом Саньяком в 1913 г. при исследовании свойств многозеркального кольцевого оптического резонатора.

Достоинства ВОГ:

1. Как и у ЛГ, отсутствие подвижных частей в ВОГ приводит к увеличению точностных характеристик (порядка $0,1 \text{ } ^\circ/\text{ч}$).
2. Низкие энергетические характеристики (потребляемая мощность $1\text{--}5 \text{ Вт}$).
3. Малые массогабаритные характеристики ($81,2 \times 81,2 \times 20,3 \text{ см}$, $0,045 \text{ кг}$ – модификация EMP-1 фирмы Emcore Corporation (США) [7].
4. Широкий диапазон измеряемых параметров.
5. Переменная чувствительность, зависящая от длины намотки волоконного датчика.

Недостатки ВОГ:

1. Ограниченный диапазон рабочих температур.
2. Нелинейность углового сигнала при малой угловой скорости.
3. Дрейф выходного сигнала из-за газовых потоков в лазере.
4. Изменение длины оптического пути под действием теплового расширения, давления и механических деформаций.
5. Высокая стоимость.

ВОГ с замкнутым контуром обратной связи наиболее широко применяют в качестве чувствительных элементов перспективных прецизионных приборов и систем навигации, ориентации и управления движением подвижных объектов, а также широко применяются в качестве ЧЭ индикаторных гироскопических стабилизаторов.

Твердотельные волновые гироскопы. Принцип работы ТВГ основан на инерционном свойстве стоячей волны. Учитывая технологию производства и точностные параметры ТВГ, а также

большое время наработки на отказ, представляется перспективной организация производства ТВГ [8].

Достоинства ТВГ:

1. Способность переносить большие перегрузки.
2. Сохранение инерциальной информации при кратковременном отключении электропитания.
3. Низкая энергоёмкость.
4. Стойкость к ионизирующему излучению с высокой энергией.

Сравнительные характеристики различных типов ДУС. В заключение, в табл. 1 приведены различные ДУС, которые позволяют осуществить обоснованный выбор датчика, в зависимости от решаемой задачи.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики различных типов ДУС

Параметр	ММГ	ДНГ	ЛГ	ВОГ	ТВГ
Время готов., с	0,2... 10	3... 600	1... 10	0,2... 1	1... 10
Случайный дрейф, $^\circ/\text{ч}$	0,5	0,02	0,001	0,005	0,05

Диапазон измерения угл. скорости, $^\circ/\text{с}$	100	60	90	30	110
Рабочий диапазон температур, $^\circ\text{C}$
	-55 +125	-55 +120	-55 +85	-40 +75	-40 +85
Габариты, масса	Низкие	Средние	Высокие	Средние	Средние

Как отмечалось выше, ММГ обладают низкой точностью по сравнению с ВОГ и ДНГ и требуют специализированного оборудования. ВОГ обладают высокой точностью, но организация их производства требует специализированного высокоточного оборудования. Следовательно, организация производства ММГ, ВОГ и ДНГ при отсутствии соответствующей базы специализированного оборудования нецелесообразна.

Литература

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
2. Техническая документация на L3GD20H [Электронный ресурс] URL: <https://www.st.com>.
3. Муслимов В.М., Ротц Ю.А., Астафьев С.А., Амвросьева А.В. Расчет надежности упругих элементов микромеханических гироскопов: учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 127 с.
4. Матвеев В.А., Подчерзев В.П., Фатеев В.В. Гироскопические стабилизаторы на динамически настраиваемых вибрационных гироскопах: уч. пособие по курсу «Теория гироскопов и гиростабилизаторов». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 103 с.
5. Малютин Д.М. Система стабилизации полезной нагрузки на динамически настраиваемом гироскопе / Д.М. Малютин // «Приборы и методы измерений», 2016. – Т. 7, № 1. – С. 32–40.

6. Техническая документация ГЛ-1 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rpkb.ru>.

7. Техническая документация на EMP-1 [Электронный ресурс] URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/555103/EMCORE/EMP-1.html>.

8. Волчихин И.А., Волчихин А.И., Малютин Д.М., Матвеев В.В., Распопов В.Я., Телухин С.В., Шведов А.П. Волновые твердотельные гироскопы (аналитический обзор) // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. – Вып. 9. Ч. 2. С. 59–78.

УДК 621.3.049.77: 681.586

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

Здоровцев С.В., Кушнеров Д.П., Сушко В.А.

ОАО «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты разработки и исследования аппаратно-программного комплекса (АПК), предназначенного для выполнения физико-химического экспресс анализа в лабораторных условиях, проведения демонстрационных экспериментов при проведении лабораторных практикумов по химии.

В основу работы АПК положен принцип функционирования информационно-измерительной системы (ИИС) на базе цифровых функциональных электронных модулей (ФЭМ) [1]. В качестве регистратора данных использован персональный компьютер (ПК), к которому по USB-порту подключаются соответствующие ФЭМ (рисунок 1).



Рисунок 1 – АПК для химических лабораторий

Модульное построение АПК обеспечивает ряд преимуществ при выполнении процесса измерения, регистрации, обработки экспериментальных данных [2]:

- возможность модернизации и развития прикладного и системного программного обеспечения;
- обеспечение независимости метрологических характеристик каналов измерения от внешних каналов обмена информацией;
- организация сетевого протокола обмена данными по каналам обмена информацией;
- сокращение числа каналов передачи аналоговой информации в пользу цифровых каналов, обеспечивающее снижение чувствительности систем к внешним помехам;
- гибкое наращивание аппаратных средств, а также возможность модернизации аппаратных модулей и их замены более совершенными устройствами;

– расширение числа функций, реализуемых в АПК.

Исследования были проведены для АПК, функционирующего в режимах измерения температуры жидкостей и паров, электропроводности растворов, объема газа с контролем температуры, оптической плотности растворов.

В качестве регистратора даны в АПК применен ПК на платформе Microsoft Windows 10 PRO с объемом ОЗУ 2 Гбайт, разрешением экрана монитора не менее 1024×768 пикселей, с портом USB.

Для измерения температуры жидкостей и паров используется ФЭМ контроля температуры, в котором в качестве сенсора температуры применена хромель-алюмелевая термопара ТХА (К) 1199/51. Диапазон контроля температуры от -20 до +1100 °С разбит на три поддиапазона: от -20 до +100 °С; от 0 до +400 °С; от 0 до +1100 °С. На рисунке 2 представлен фрагмент информационного окна ПК в режиме измерения температуры.

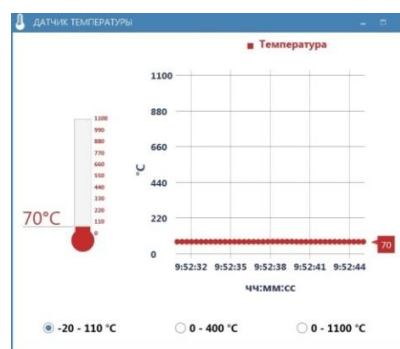


Рисунок 2 – Информационное окно ПК в режиме измерения температуры

Для измерения удельной электрической проводимости растворов используется ФЭМ, принцип работы которого основан на измерении сопротивления раствора, находящегося под действием приложенного к нему переменного напряжения. ФЭМ обеспечивает контроль электропроводности растворов в диапазоне от 0 до 5 мСм/кв.см. На рисунке 3 представлен фрагмент информационного окна ПК в режиме измерения электропроводности растворов.