

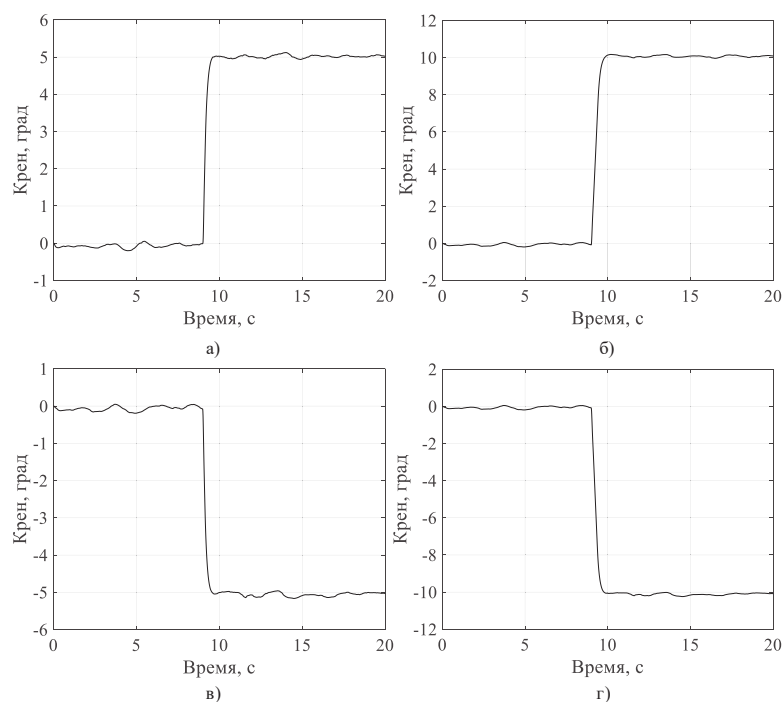


Рисунок 1 – Графики изменения угла крена от 0 до 5° (а), от 0 до 10° (б), от 0 до –5° (в) и от 0 до –10° (г)

Разработанный способ управления ориентацией беспилотного летательного аппарата с применением нечеткого регулятора дает возможность выполнять поставленные перед летательным аппаратом задачи и придерживаться желаемого качества регулирования по основным каналам управления. Данный способ позволяет обеспечить автоматическую настройку параметров в ЗУ системы управления полетом любого беспилотного летательного аппарата самолетного типа с соблюдением безаварийности в первых испытательных полетах.

УДК 621.317

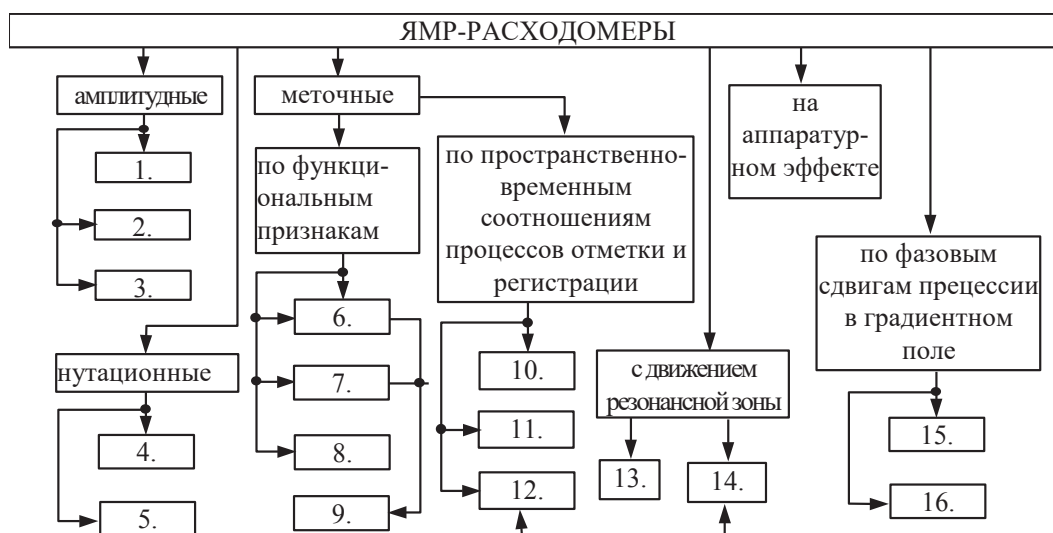
М.А. Анкуда, ст. преп.; В.В. Сарока, доц., канд. техн. наук;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
Н.М. Олиферович, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ОБЗОР И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАСХОДОМЕРОВ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Классификация расходомеров ЯМР может базироваться на особенностях эффекта в движущихся жидкостях, положенных в основу принципа действия приборов. При этом необходимо учитывать структурные отличия и пространственно-временные соотношения процессов при работе измерителей. Вариант классификации приведен на рисунке 1. Известны классификации с выделением импульсных расхо-

домеров. Чаще импульсные методы используются для изучения параметров ЯМР, получаемых и модуляционными, что позволяет включить импульсные расходомеры как тип в соответствующий класс.

Амплитудные ЯМР-расходомеры основаны на зависимости интенсивности сигнала от скорости. Их достоинство - простота, так как необходим лишь датчик сигнала и поляризатор. Амплитудные измерители имеют широкий диапазон и работают с жидкостями с малыми временами релаксации T_1 . Недостатком является большая погрешность (до 10%) из-за зависимости амплитуды сигнала от характеристик среды (T_1) и параметров полей. Эти расходомеры применяются для неразрушающего контроля расходов в биологических и химических объектах и не используются как измерительные средства в производстве. Для получения интенсивности сигнала применяются модуляционные и импульсные методы.



1 – по амплитуде сигнала; 2 – по затуханию свободной прецессии;
3 – по амплитуде спинного эхо; 4, 5 – с однородным и с неоднородным полем нутации; 6 – временные; 7 – амплитудно-частотные; 8 – фазочастотные; 9 – адаптивные временные; 10, 11 – с пространственным и с временным разделением отметки и регистрации; 12 – с совмещенными отметкой и регистрацией; 13 – в катушке отметки; 14 – в катушке регистрации; 15 – на эффекте Джекобсона-Вангснеса; 16 – по сдвигу фазы спинного эхо

Рисунок 1 – Классификация ЯМР-расходомеров

При большом поперечном сечении потока перспективны расходомеры на основе зависимости скорости затухания сигналов свободной прецессии в постоянном поле от расхода, в которых применяется стандартная поляризация, и наблюдается спад сигналов свободной прецессии в слабом постоянном поле, ортогональном поляризующему. При течении жидкости из-за сменяемости ядер спад обуславлива-

ется эффективным временем релаксации, включающим скорость $T_{1\rho}$. Спад сигналов свободной прецессии определяет расход. Достоинством измерителей является простота и высокая (до 5%) точность. Недостаток – низкая помехоустойчивость.

В нутационных расходомерах между поляризатором и анализатором помещают генератор нутации. Следящая система обеспечивает поддержание в катушке нутации заданного угла изменением амплитуды резонансного поля, по величине которой судят о расходе. У нутационных расходомеров с однородным постоянным полем в катушке нутации расход пропорционален радиочастотному полю нутации, у неоднородного поля квадратичная зависимость. Нутационные расходомеры имеют широкий диапазон измеряемых расходов (10–15) и высокую точность (погрешность до 2%). Недостатком является зависимость показаний от паразитного домagnичивания между катушкой нутации и анализатором, что приводит к большим релаксационным погрешностям. Поэтому нутационные расходомеры применяют в качестве стационарных приборов с контролем релаксационных параметров среды.

В меточных ЯМР-расходомерах нутатор периодически изменяет намагниченность жидкости со скоростью, значительно большей скорости течения, и создает в потоке метки ЯМР. Расход определяется по времени прохождения меткой измерительного участка от отметчика до анализатора. Меточные измерители подразделяют на временные, амплитудно-частотные и фазово-частотные. Во временных отметка производится с постоянной частотой, а измеряют интервал времени от отметки до достижения интенсивностью сигнала порогового значения. В частотных частота отметки пропорциональна расходу, для чего создается генератор с положительной обратной связью по потоку. У амплитудно-частотных фронт и спад отметки осуществляют по достижению намагниченностью в анализаторе некоторого уровня, в фазо-частотных частота повторения циклов отметки устанавливается из условия заданного сдвига фазы между отметкой и огибающей сигналов. Изменение частоты отметки в широких пределах требует расширения полосы пропускания тракта регистрации частотных расходомеров по сравнению с временными, что ухудшает отношение сигнала к шуму и повышает погрешности, но в одинаковой полосе частот при частотном сигнале повышается информативность по отношению к шуму. Взаимодействие двух факторов обеспечивает одинаковые параметры временных и частотных измерителей. Повышение точности обеспечивает временной расходомер с адаптивной частотой отметки и полосой пропускания к скорости, совмещающий достоинства частот-

ных и временных методов. Разнесение в пространстве блоков меток и анализа намагниченности ограничивает минимальный расход и время релаксации из-за размагничивания метки на измерительном участке. Возможен измеритель с временным разделением процессов отметки и регистрации, в котором анализатор периодически выполняет функцию отметчика, спиновый детектор – нутатора, а расход определяется по смене отмеченной жидкости неотмеченной, измерительным участком служит катушка регистрации. Существуют измерители с пространственным и временным совмещением отметки и регистрации – расходомеры с движением резонансной зоны. Меточные измерители обладают минимальными погрешностями (до 0,5%), широким диапазоном, высокой помехоустойчивостью и слабо зависят от релаксационных характеристик, что делает их перспективными для применения как элементов систем управления в технологических процессах.

В расходомерах с движением резонансной зоны в катушке регистрации создают продольный градиент поля, обеспечивающий соблюдение резонансных условий на малой длине катушки (в резонансной зоне), подбором амплитуды генерации насыщают объем зоны и с помощью следящей системы выравнивают скорости зоны и среды. При несовпадении скоростей из-за притока ядер в резонансную зону насыщение снимается, и появляется сигнал для подстройки скорости движения зоны изменением частоты генерации или индукции поля. По скорости сопровождения судят о расходе. В расходомерах с движением резонансной зоны в катушке отметки расход определяют по скорости сопровождения, обеспечивающей отметку. Недостатком является наличие широкополосной следящей системы и большого градиента, снижающих отношение сигнала к шуму, достоинство – возможность измерения малых расходов и сред с малыми T_1 .

Измерители на аппаратурном эффекте требуют первичных преобразователей с несовпадением направлений трубки тока жидкости и индукции переменного поля. Аппаратурный сдвиг частоты или уширение линии из-за малости эффекта производят в низких полях, используют движение потока в противоположных направлениях или регистрируют резонансные частоты от движущихся и неподвижных образцов. Погрешность расходомеров на аппаратурном эффекте не превышает 2%, однако на точность влияют неоднородности поля и электромагнитные помехи. Из-за малой индукции поля регистрации наибольшая эффективность измерителей обеспечивается для больших расходов, в частности, в трубопроводах большого сечения.

Для изучения микрорасходов, например, диффузии, интересны методы, основанные на зависимости параметров эффекта от фазы

прецессии объемов среды при течении в поле с продольным градиентом. В импульсных методах таким параметром является сдвиг фазы сигналов спинного эха.

Амплитудные и нутационные расходомеры не обеспечивают точность из-за релаксационных погрешностей, расходомерам с движением резонансной зоны присущи большие случайные погрешности, устройства на аппаратурном эффекте не обладают помехоустойчивостью и имеют значительные релаксационные погрешности. Поэтому для применения в качестве элементов систем управления производственными процессами в химической технологии перспективны точные расходомеры временного типа.

Ведущим разработчиком ЯМР-расходомеров является фирма Badger Meter Manufacturing Co (США). Ее продукция – ЯМР-расходомеры на диаметры труб 10, 20, 25, 50 и 150 мм, точность 0,5% от верхнего предела шкалы, габариты преобразователя 730x117 мм, измерительного блока 450x600 мм, давление до 8 МПа, температура измеряемой среды – до 400°C. Аналогичные ЯМР-расходомеры для промышленности выпускает фирма MRG (Япония). Точность 0,5%, диапазон расходов 160 – 1200 л/ч (0,04 – 0,35 л/с), диаметр 9, 25, 50 мм, температура измеряемой среды до 120°C. ЯМР-расходомер РМР ОК № 6823-78, разработанный в КГЭУ (Россия) имеет следующие параметры: точность измерения 0,5%, диапазон измерения расхода – 60 – 600 л/ч, температура измеряемой среды 40±10°C, диаметр 8 мм, габариты преобразователя 800x170 мм.

УДК 621.382

М.А. Анкуда, ст. преп.; Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук;
Н.М. Олиферович, ст. преп.; М.К. Анкуда, ассист.
(БГТУ г. Минск)

ОПИСАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СЕНСОРЕ

Принцип действия полупроводниковых химических сенсоров основан на изменении электрических свойств чувствительного слоя полупроводникового образца при изменении состава анализируемой газовой среды. В качестве объекта исследования были выбраны газочувствительные тонкопленочные полупроводники.

Основной теорией, объясняющей процессы, происходящие на поверхности полупроводника, является теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Согласно этой теории в воздушной среде на поверхностных центрах полупроводника может адсорбироваться кисло-