

УДК 621.317

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

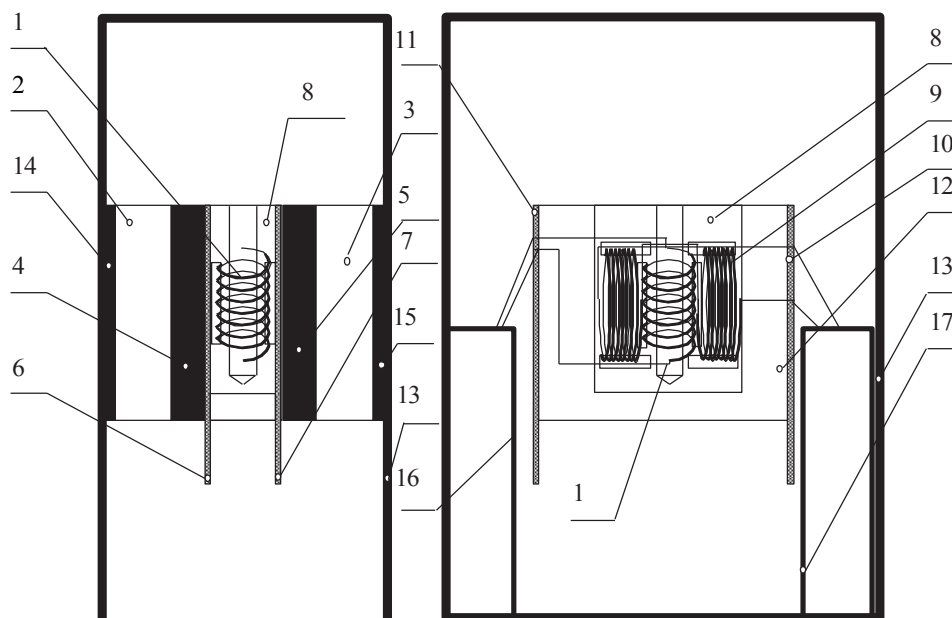
## РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО ЯМР СПЕКТРОМЕТРА

Спектрометры ядерного магнитного резонанса широко применяются для определения состава и свойств веществ, дающих сигнал ЯМР. Наиболее критичным узлом радиоспектрометра является первичный преобразователь. Для использования в жестких условиях технологического процесса преобразователь должен обладать повышенной помехоустойчивостью по отношению к электромагнитным и механическим воздействиям, а также малым энергопотреблением. Этим требованиям удовлетворяет первичный преобразователь на основе постоянных магнитов с ярмом броневого типа. Кроме того, для получения сигнала ЯМР поле в рабочем зазоре в месте расположения образца должно быть не менее 0,1 Тл с относительной неоднородностью не более  $10^{-5}$ . Желательно, чтобы преобразователь мог быть использован в составе импульсного ЯМР спектрометра. Схематичное изображение разработанного первичного преобразователя, удовлетворяющего перечисленным требованиям, представлена на рис.1.

Для получения первоначальной однородности магнитного поля отношение характерного размера полюсных наконечников (диаметра или стороны квадрата) к длине рабочего зазора должно быть не менее 5. По конструктивным соображениям необходима длина рабочего зазора 10 мм, поэтому габаритные размеры рабочего зазора выбраны равными 60×60×10 мм. Магнитное поле преобразователя создается 2 постоянными магнитами из феррита стронция 27СА220, имеющими размеры 60×60×15 мм. Расчет параметров магнитной системы проводился по критерию максимальной индукции магнитного поля в центре рабочего зазора. Расчетное значение индукции составило 0,145 Тл для магнитной системы с ярмом броневого типа, имеющим габаритные размеры 130×130×58 мм [1].

По результатам расчета изготовлена магнитная система преобразователя. Толщина полюсных наконечников оптимизированной магнитной системы составляет 4,5 мм, что выравнивает неоднородность намагничивания постоянных магнитов. Ферромагнитные вставки обеспечивают получение оптимизированных размеров магнитной системы. Кроме концентрации магнитного потока магнитная система броневого типа обеспечивает также защиту от электромагнитных по-

мех. Ярмо выполнено из пластин электротехнической стали толщиной 1,5мм. В центре рабочего зазора получено пятно однородного поля 10х10 мм с индукцией 0,15Тл, что хорошо согласовывается с расчетным значением. Топография магнитного поля в рабочем зазоре снималась при помощи датчика Холла.



1 – приемная катушка; 2, 3 – постоянные магниты из феррита стронция 27СА220; 4, 5 – полюсные наконечники; 6, 7 – токовые шиммы; 8 – корпус кюветы из органического стекла; 9 – катушка возбуждения; 10, 11 – клемные колодки; 12 – латунный корпус кюветы; 13 – ярмо магнитной системы; 14, 15 – ферромагнитные вставки; 16 – приемный усилитель; 17 – блок управления

**Рисунок 1 – Первичный преобразователь импульсного ЯМР-спектрометра**

Кювета с анализируемым образцом имеет  $\varnothing 5$ мм, длину 45мм и проходит через пятно однородности. Радиочастотная часть спектрометра выполнена на основе скрещенных катушек Блоха, оси которых расположены под углом  $90^{\circ}$ . Рабочий объем кюветы с образцом находится в центре скрещенных катушек Блоха в пределах пятна однородности поля. Передающая катушка (катушка возбуждения) содержит 160 витков провода ПЭВ 0,2мм и имеет индуктивность 134,5 $\mu$ Н, сопротивление 9,8 Ом. Ее ось ортогональна оси кюветы с образцом. Приемная катушка содержит 100 витков ПЭВ 0,2мм, имеет сопротивление 2,13 Ом, индуктивность 46 $\mu$ Н. Она располагается соосно с кюветой.

Кювета с катушками Блоха монтируется на латунный корпус, имеющий плоскопараллельные рабочие поверхности, к которым прижимаются полюсные наконечники. Начальная однородность магнитного поля обеспечивается за счет параллельности плоскостей латун-

ного корпуса. Окончательная юстировка поля осуществляется при помощи токовых шиммов, расположенных между полюсными наконечниками. Шиммы позволяют изменять градиент магнитного поля в 2 взаимно ортогональных направлениях, что обеспечивает компенсацию остаточного или установку необходимого градиента при помощи управляемых источников постоянного тока. Катушка возбуждения и приемная катушка экранированы медной фольгой, присоединенной к корпусу.

Выводы катушек и шиммов присоединяются к платам с электронными компонентами, которые смонтированы внутри ярма магнитной системы, что позволило уменьшить паразитные емкости и микрофонный эффект. На платах расположены блок управления вектором ядерной намагниченности и приемный усилитель сигналов ЯМР. Приемный усилитель выполнен в виде 2-хкаскадного дифференциального усилителя на высокочастотных транзисторах. Управление вектором ядерной намагниченности осуществляет высокочастотный источник синусоидального тока в катушку возбуждения. Он представляет собой высокочастотный генератор с электронной перестройкой частоты и электронной регулировкой амплитудой генерируемых колебаний. В качестве задающего генератора источника тока использована схема автодина. Для исключения взаимного влияния платы монтируются в экранирующих латунных корпусах [2].

Испытания первичного преобразователя проводились на водопроводной воде. Частота принимаемого сигнала от протонов воды составляла 6,38 МГц, что соответствует гиромагнитному отношению для протонов 42,57 МГц/Тл.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оробей, И. О. Первичный преобразователь ЯМР – спектрометра И. О. Оробей, В. В. Сарока // Вестник БНТУ. – 2004. – № 4. – С. 28–31.
2. Система стабилизации и развертки магнитного поля для радиоспектрометров / В. В. Сарока, И. О. Оробей, Е. И. Дедкова, Т. В. Леонова, А. Л. Пархимович // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы докладов Международ. науч.-технич. конф., – Минск, 22-24 октября 2003 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: И. М. Жарский [и др.]. – Минск, 2003. – С. 78.