

М.А. Анкуда, И.О. Оробей, В.В. Сарока

ПЕРВИЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СПЕКТРОМЕТРА ЯМР ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Спектрометры ядерного магнитного резонанса (ЯМР) широко применяются для определения состава и свойств нефтепродуктов. Наиболее критичным узлом радиоспектрометра является первичный преобразователь. Для использования в жестких условиях технологического процесса преобразователь должен обладать высокой помехоустойчивостью к электромагнитным и механическим воздействиям и 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} [1]. Схема преобразователя, удовлетворяющего перечисленным требованиям, представлена на рис. 1.

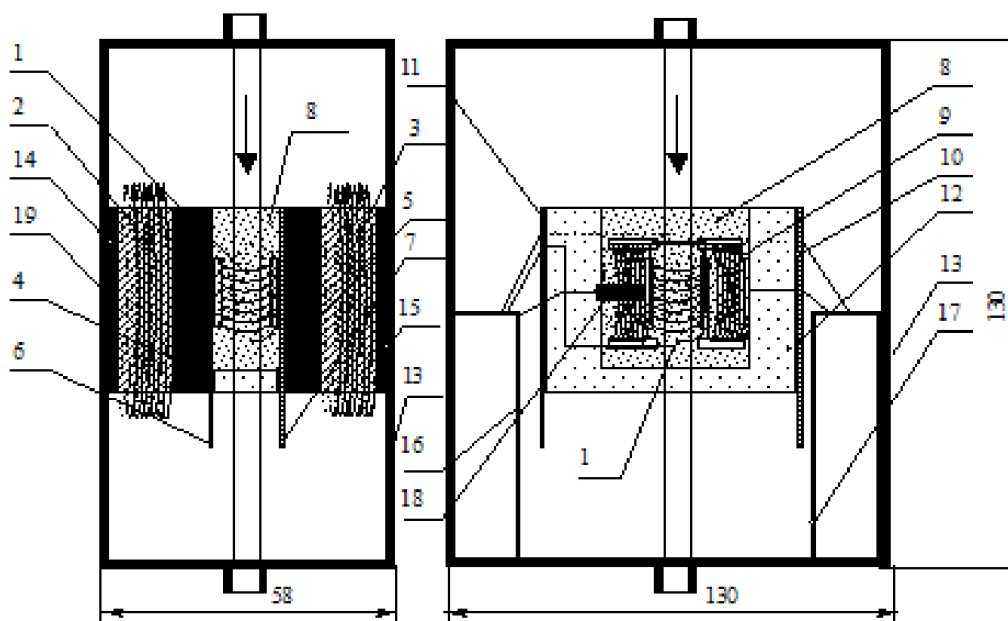


Рис. 1. Первичный преобразователь спектрометра ЯМР: 1 приемная катушка; 2, 3 катушки электромагнита; 4, 5 полюсные наконечники; 6, 7 токовые шиммы; 8 корпус кюветы из органического стекла; 9 катушка возбуждения; 10, 11 клемные колодки; 12 латунный корпус кюветы; 13 ярмо магнитной системы; 14, 15 ферромагнитные вставки; 16 приемный усилитель; 17 блок управления вектором намагниченности; 18 датчик Холла

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 зазора выбраны равными 60×60×10 мм. Для создания магнитного поля применены два постоянных магнита из феррита стронция 27СА220 с размерами 60×60×15 мм. Расчет параметров магнитной системы проводился с целью получения максимальной индукции магнитного поля в центре рабочего зазора по методике, предложенной в [2].

Расчетное значение индукции составило 0,145 Тл для магнитной системы с ярмом броневое типа, имеющим габаритные размеры 130×130×58 мм.

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 броневое типа обеспечивает также защиту от электромагнитных помех. Ярмо выполнено из пластин электротехнической стали толщиной 1,5 мм. В центре рабочего зазора получено пятно однородного поля 10×10 мм с индукцией 0,15 Тл, что хорошо согласовывается с расчетным значением. Топография магнитного поля в рабочем зазоре снималась при помощи датчика Холла.

Кювета с анализируемым образцом имеет $\varnothing 5$ мм, длину 45 мм и проходит через пятно однородности. Радиочастотная часть спектрометра выполнена на основе скрещенных катушек Блоха, оси которых расположены под углом 90° . Рабочий объем кюветы с образцом находится в центре скрещенных катушек Блоха в пределах пятна однородности поля. Катушка возбуждения содержит 160 витков провода ПЭВ 0,2 мм и имеет индуктивность 134,5 μH , сопротивление 9,8 Ом. Ее ось ортогональна оси кюветы с образцом. Приемная катушка содержит 100 витков ПЭВ 0,2 мм, имеет сопротивление 2,13 Ом, индуктивность 46 μH . 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 латунного корпуса. Окончательная юстировка поля осуществляется при помощи токовых шиммов, расположенных между полюсными наконечниками. Шиммы позволяют изменять градиент магнитного поля в двух ортогональных направлениях, что обеспечивает компенсацию остаточного или установку необходимого градиента при помощи управляемых источников постоянного тока. Конфигурация токовых шиммов заимствована из [3]. Катушки экранированы медной фольгой, присоединенной к корпусу.

Выводы катушек и шиммов присоединяются к платам с электронными компонентами, которые смонтированы внутри ядра магнитной системы, что позволило уменьшить паразитные емкости и микрофонный эффект. На платах расположены блок управления вектором ядерной намагниченности и приемный усилитель сигналов ЯМР.

Принципиальная схема приемного усилителя сигнала ЯМР состоит из параллельного контура, включающего приемную катушку L1, истокового повторителя на VT1, двух дифференциальных усилительных каскадов на VT2 – VT5, стабилизаторов напряжения $\pm 8,2$ В на VT6, VT7 и выходного эмиттерного повторителя на VT8. Настройка на резонансную частоту осуществляется изменением емкости конденсатора C1.

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

Литература

1. Леше, А. Ядерная индукция: Пер. с нем. – М.: ИИЛ, 1963.
2. Постоянные магниты. Справочник/ Под ред. Пятина Ю.М. – М.: Энергия, 1980.
3. Borer, K., Fremont, G. Thenuclearmagneticresonancemagnetometer-type 9298 // CERN 77–19. Experimentalphysicsdivision. 26.10.1977.
4. Оробей, И.О. Первичный преобразователь импульсного ЯМР-спектрометра для систем управления / И.О. Оробей, В.В. Сарока // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. – 2002. – Вып. X. – С. 136–138.