

К.Г. Михайлов (11 класс, лицей №265), В.В. Семенов, д.ф.м.н., проф.(каф. КЭ)

О ВЛИЯНИИ МОДУЛЯЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СИГНАЛ ПОГЛОЩЕНИЯ В АМПЛИТУДНО-МЕТОЧНОМ ЯМР СПЕКТРОМЕТРЕ С ПРОТОЧНЫМ ОБРАЗЦОМ

ABSTRACT: The correlation between modulating field and signal absorption in the NMR spectrometer by fluid liquid have been investigated for three expedentures. The maximal correlation parameter between signal amplitude and longitude of the magnetic target is observed for minimal frequency of modulation.

В технике ядерного магнитного резонанса (ЯМР) используются различные методы регистрации полезного сигнала, конкретный выбор которых обусловлен требованиями получения необходимой точности регистрации полезного сигнала в измерительном процессе, а также условиями эксплуатации. Наибольшее распространение в приложениях получила модуляционная методика, в соответствии с которой рабочее магнитное поле (либо частота индуцирующего резонанс радиополя) подвергается периодической модуляции в окрестности резонансного значения, и на этой же частоте осуществляется считывание сигнала ЯМР. По этому принципу построены промышленные измерители магнитной индукции Ш1-1, которые входят в состав анализирующего устройства ЯМР спектрометров с проточным образцом. Подобные приборы получили распространение при разработке конструкций бесконтактных измерителей расхода различных жидкостей и зарекомендовали себя измерительными устройствами, сочетающими в себе хорошие метрологические характеристики и надежность эксплуатации.

В настоящей работе анализируется влияние параметров модуляции магнитного поля в анализаторе ЯМР амплитудно-меточного ЯМР спектрометра с текущей жидкостью на величину и форму считываемого сигнала в режиме существенного превышения амплитуды модуляции в сравнении с шириной резонансной линии (метод широкополосной модуляции – ШМ). Подобный режим представляет известный интерес при работе ЯМР расходомеров в условиях повышенных магнитных помех, требующих непрерывной подстройки частоты радиополя к резонансному значению. В традиционных схемах ЯМР расходомеров с узкополосной модуляцией (УМ) магнитного поля в пределах ширины резонансной линии для этой цели используют технику синхронного детектирования, что приводит к усложнению и удорожанию конструкции прибора.

Схема экспериментальной установки ЯМР спектрометра, работавшего в режиме ШМ содержала поляризатор для намагничивания протонов рабочего вещества, датчик нутации и анализатор, в состав которого входил измеритель Ш1-1. В датчике нутации производилась магнитная отметка протонов текущей жидкости, фиксируемая через интервал времени τ в измерителе Ш1-1 по моменту инверсии сигнала ЯМР, наблюдаемого в виде пиков поглощения, соответствующих прямому и обратному ходу развертки магнитного поля. В анализаторе осуществлялось измерение длительности τ и амплитуды сигнала A в зависимости от величины расхода жидкости Q , амплитуды сигнала автодинного генератора в Ш1-1 H_1 и параметров поля модуляции – частоты f_m и амплитуды H_m .

Измерения проводились для трех фиксированных расходов жидкости (воды из сетевой магистрали): Q_1 – малого расхода, соответствующего длительности $\tau = 800$ мсек, среднего расхода Q_2 , соответствующего длительности $\tau = 300$ мсек, при котором достигалось наибольшее отношение сигнал-шум, и повышенного расхода Q_3 , соответствующего длительности $\tau = 100$ мсек. Расходам Q_1 и Q_3 соответствовали одинаковые амплитуды регистрируемого сигнала в анализаторе. При этом оптимальные

значения амплитуды H_1 (соответствующие максимуму отношения сигнал-шум) для расходов Q_1 , Q_2 и Q_3 составляли пропорцию 1,5:2:2,5. Сдвиг оптимального значения H_1 в большую сторону для больших расходов связан с сокращением длительности взаимодействия протонов рабочей жидкости с полем радиокатушки автодинного детектора. Наибольшее отношение сигнал-шум для расхода Q_2 составляло 50 в полосе регистрации 20 кГц.

При варьировании параметров поля модуляции наблюдалось изменение формы и интенсивности детектируемого сигнала, что соответственно приводило к изменению измеряемого значения длительности τ . Так при изменении амплитуды H_m в диапазоне от 30 до 100 эрстед наблюдалось увеличение длительности τ для расходов Q_1 и Q_3 в среднем на 10%, а для расхода Q_2 - на 3%. Варьирование частоты модуляции f_m в пределах 10...40 Гц приводило к некоторому снижению амплитуды A и практически не влияло на измеряемое значение τ . Абсолютная погрешность измерений длительности τ для указанных пределов изменения частоты f_m варьировалась в диапазоне 12...3% для расхода Q_1 , 24...8% для расхода Q_2 и 100...25% для расхода Q_3 . Минимальное значение (на уровне нескольких процентов) относительных среднеквадратичных вариаций величин A и τ в окрестности их средних значений достигалось на минимальной частоте модуляции рабочего магнитного поля 10 Гц.

Для указанных диапазонов изменения частоты f_m и амплитуды H_m определялись коэффициенты корреляции $K_{A\tau}$ для измеряемых величин A и τ . Для всех значений расходов коэффициенты $K_{A\tau}$ оказался близким к единице при произвольном изменении амплитуды H_m и фиксированной частоте f_m . При произвольном изменении частоты f_m и фиксированной амплитуде H_m коэффициент $K_{A\tau}$ принимал значение, близкое к -0,5.

Проведенные измерения позволяют сделать вывод о существенном влиянии параметров поля модуляции на измерительный процесс в амплитудно-меточном ЯМР спектрометре с проточным образцом, причем наибольшая степень достоверности проводимых измерений достигается при малых (Q_1) и средних (Q_2) расходах текущей рабочей среды. В первом случае (Q_1) это объясняется относительно большой длительностью τ по сравнению с периодом модуляции магнитного поля, во втором случае (Q_2) минимальная погрешность измерений обусловлена оптимальным расходом, при котором сигнал-шум в анализаторе достигает максимальной величины.