

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 535.34.083

РЕЛАКСОМЕТР ПРОТОННОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

© 2019 г. Р. С. Кашаев, А. Н. Темников, Ч. В. Тунг,
Н. Т. Киен, О. В. Козелков

Поступила в редакцию 17.09.2018 г.

После доработки 19.10.2018 г.

Принята к публикации 01.10.2018 г.

DOI: 10.1134/S003281621902023X

К преимуществам релаксометра протонного магнитного резонанса (п.м.р.) при контроле параметров углеводородных протонсодержащих жидкостей можно отнести:

- универсальность, неразрушающий метод контроля;
- большую номенклатуру контролируемых параметров во всем диапазоне их изменений, отсутствие потребности в расходных материалах; многокомпонентный анализ одним прибором;
- отсутствие контакта с исследуемым объектом и, соответственно, отсутствие разрушающего действия агрессивных сред на оборудование.

Для реализации перечисленных преимуществ метода разработан более совершенный по сравнению с ранее описанными [1, 2] портативный релаксометр ПМР-НР2.

Уникальные возможности ядерного (протонного) магнитного резонанса (я.м.р.) связаны с его квантово-механической основой – наблюдением эффектов взаимодействия ядер, обладающих магнитным моментом при воздействии на систему постоянным и переменным магнитными полями. Я.м.р.-параметры ядер (протонов) коррелируют с физико-химическими свойствами объекта исследования, что может быть использовано для его анализа [3, 4].

Основные технические характеристики. Портативный релаксометр ПМР-НР2 изготовлен по ТУ 25-4823764.0031-90 и питается от аккумулятора (=12 В) или от сети, напряжение которых преобразуется в постоянные напряжения питания блоков релаксометра. Время измерения в среднем не более 2 мин. Настройка прибора осуществляется с клавиатуры э.в.м. (Notebook), результат высвечивается на мониторе. Резонансная частота $\nu_0 = 9.35–18.45$ МГц при диаметре катушки датчика 30–10 мм. Чувствительность приемника не хуже 2 мкВ при отношении сигнал/шум, равном 2 для катушки датчика диаметром $D = 30$ мм. Амплитуда сигнала $A \sim \nu_0^2 D^3 = 900–1290$ МГц²см³, что близко к $A \sim 1600$ МГц² см³ ближайшего зару-

бежного аналога – лабораторного релаксометра Minispec pc120 (Bruker, Германия) и больше $A \sim 100$ МГц² см³ лабораторного MQA 6005 (Oxford, Англия). Последний имеет более низкую частоту $\nu_0 = 2$ МГц, хотя больший диаметр катушки датчика ($\varnothing 50$ мм). Диапазон измерений времен релаксации портативного релаксометра ПМР-НР2 составляет $T_{1,2} = 100$ мкс–10 с.

По разработанным методикам экспресс-анализа портативный релаксометр ПМР-НР2 позволяет осуществлять определение концентраций: воды в нефти и топливе в диапазоне 0.02–100% с относительной погрешностью $\pm 2\%$; серы в топливе, нефти, мазуте в диапазоне 0.02–8% с абсолютной погрешностью $\pm 0.3\%$; дисперсного распределения капель воды в водонефтяной и водобитумной эмульсии в диапазоне диаметров капель 1.5–15 мкм с относительной погрешностью $\pm 2\%$; температуры размягчения дорожных битумов в диапазоне 30–72°C с относительной погрешностью $\pm 1.5\%$; загрязненности сточных и отработанных вод нефтью и нефтепродуктами в диапазоне 0.1–100% с абсолютной погрешностью $\pm 0.03\%$; концентраций парамагнитных ионов тяжелых металлов сточных и отработанных вод от 0.05 мг/л (верхний предел не ограничен); загрязненности почв нефтью и нефтепродуктами с относительной погрешностью $\pm 1.5\%$ с нижним пределом 0.05 вес. % (верхний предел не ограничен).

Релаксометр п.м.р. состоит из цифровой платы контроллера–синтезатора частоты–формирователя импульсов (к.с.ф.и.), соединенной с усилителем мощности импульсов (передатчиком) и усилителем сигналов п.м.р. (приемником). Полезный сигнал с датчика п.м.р., расположенного между полюсами постоянного магнита на сплаве NdFeB, поступает на вход приемника. Плата к.с.ф.и. состоит из двух частей: схемы передачи управляющих сигналов, процесса измерения и программы задания импульсных последовательностей от э.в.м. в передатчик (рис. 1) и схемы передачи п.м.р. сигналов от приемника в э.в.м. (рис. 2)

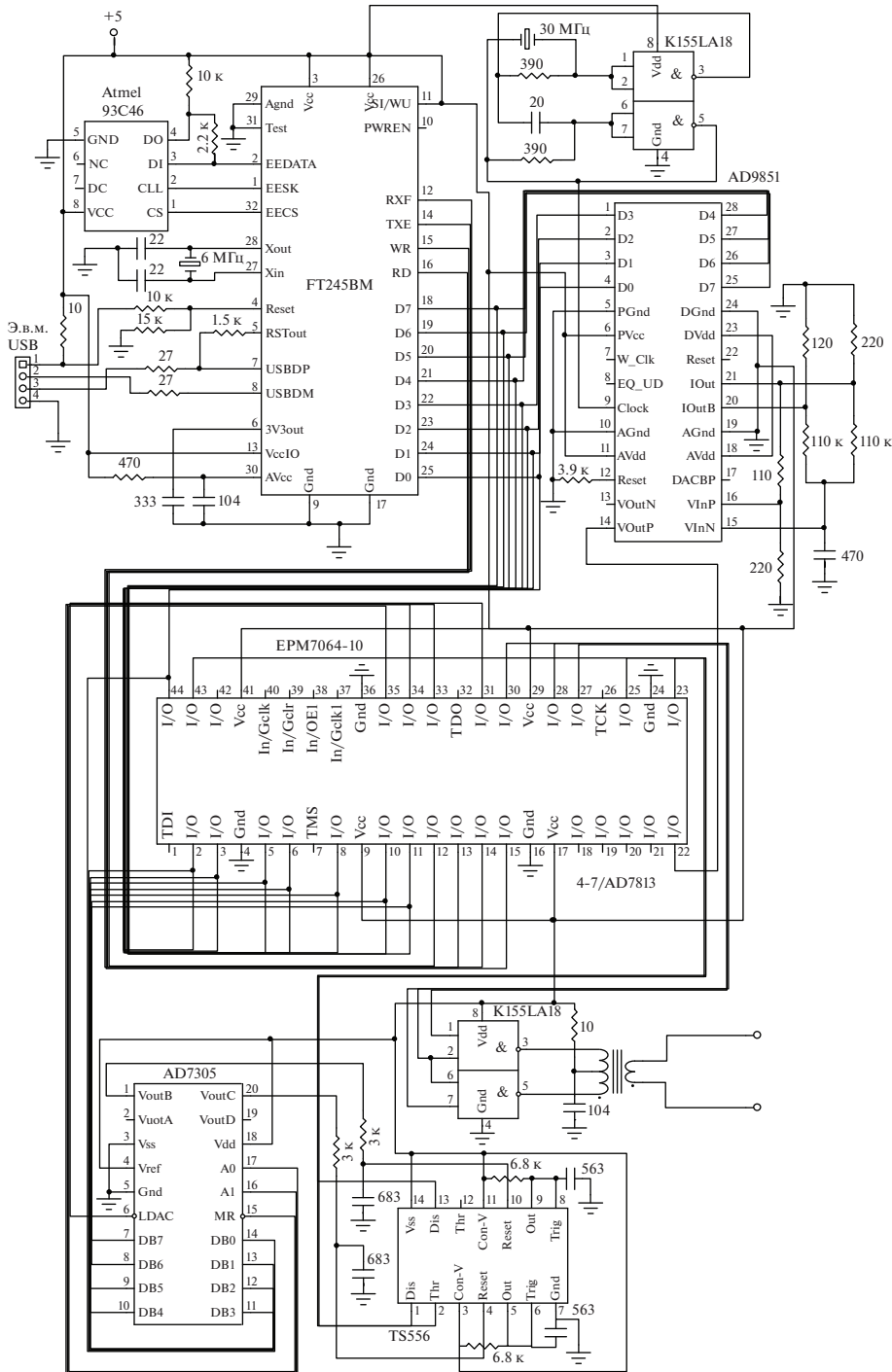


Рис. 1. Принципиальная схема контроллера передачи данных с э.в.м. на передатчик портативного релаксометра ПМР-НР2.

для обработки. Контроллер соединен двухсторонней связью с э.в.м. (ноутбук) через USB-порт.

На рис. 1 представлена принципиальная схема части к.с.ф.и., с помощью которой осуществляется передача от э.в.м. программы формирования импульсных последовательностей через USB-порт с контроллером FT245BT и синтезатор ча-

стоты AD9851 на вход программируемого генератора импульсов на 30 МГц EPM7064-10 с делителем на 5 и далее через аналого-цифровой преобразователь (а.ц.п.) AD7813 и таймер TS556 на вход высокочастотного передатчика. В качестве генератора резонансной частоты используется цифровой синтезатор частоты (AD9851), выход кото-

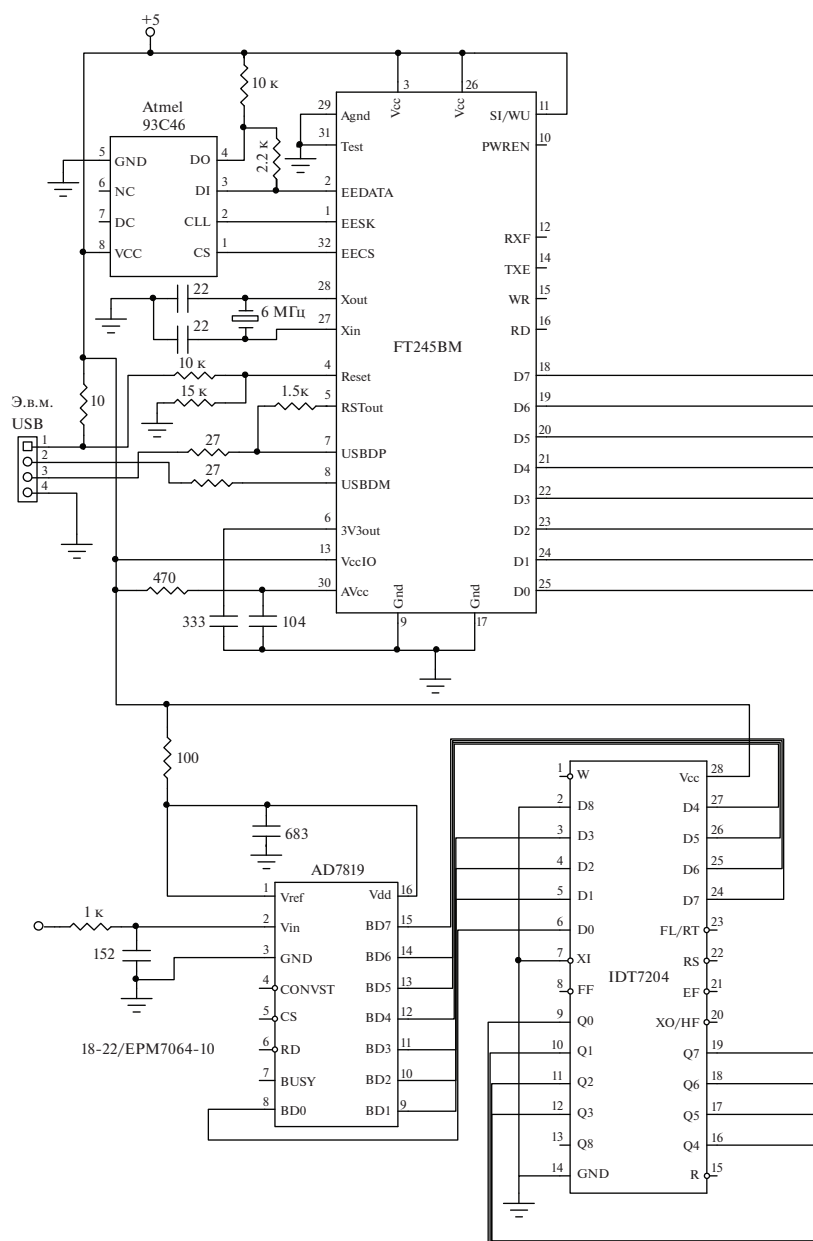


Рис. 2. Принципиальная схема передачи данных с приемника портативного релаксометра ПМР-NP2 на э.в.м.

рого соединен с входом формирователя импульсов, а его выход в свою очередь соединен с входом передатчика, подающего усиленные импульсы в датчик п.м.р. Цифровые выходы контроллера через цифроаналоговый преобразователь (ц.а.п.) AD7305 соединены с входами синтезатора частоты и формирователя импульсов, на которые поступают сигналы управления от э.в.м. (ноутбук).

На рис. 2 представлена принципиальная схема передачи данных с приемника на э.в.м. В качестве измерителя амплитудных сигналов используется а.ц.п. AD7819 с интегратором. Через буферный регистр IDT7204 а.ц.п. соединен с контроллером

FT245BM, с которого поступают сигналы управления для передачи данных на э.в.м.

Программируемый генератор импульсов (рис. 1) включает делитель на 10 и 8-разрядный регистр на D-триггерах. Импульсная последовательность формируется программным способом путем чередования двоичных кодов, считываемых из выходного регистра микросхемы FT245BM (преобразователя интерфейса USB — параллельный FIFO) каждые 10 мкс и записываемых в регистр генератора. Так как емкость регистра FT245BM равна 128 байт, полное время его считывания составляет 1280 мкс, что гарантирует своевремен-

ную “подкачку” регистра и позволяет формировать практически бесконечные импульсные последовательности с произвольным порядком следования импульсов по 8 независимым каналам. Из этих каналов два используются для управления а.ц.п. AD7813 и один – для управления буферной памятью (регистром IDT7204). Программируемый генератор, делители, вспомогательные логические блоки, а также узлы самого контроллера реализованы на программируемой логической микросхеме EPM7064S фирмы Altera.

Полный цикл управления состоит из следующих шагов: установка частоты синтезатора; загрузка ц.а.п.; формирование “измерительной” импульсной последовательности по 8 независимым каналам; чтение данных из буферной памяти.

Авторы (Р.С. Кашаев и А.Н. Темников) благодарят ФГБУ “Фонд содействия развитию малых

форм предприятий в научно-технической сфере” за финансирование разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Идиятуллин З.Ш., Кашаев Р.С., Темников А.Н.* // Патент на полезную модель 67719 РФ // Оpubл. 27.10. 2007. Бюл. № 30.
2. *Темников А.Н.* // ПТЭ. 2010. № 1. С. 81.
3. *Кашаев Р.С.* Аппаратура и методики ЯМР-анализа нефтяных дисперсных систем. Lambert Academic Publishing, 2012.
4. *Kashaev R.S.* // Applied Magnetic Resonance. 2018. № 49. P. 309. <https://doi.org/10.1007/s00723-018-0977-2>

Адрес для справок: Россия, 420066, Казань, ул. Красносельская, 51, Казанский государственный энергетический университет, кафедра приборостроения и мехатроники. E-mail: kashaev2007@yandex.ru