

УДК 621.317.738

Е. Д. Макшаков, аспирант, Сарапульский политехнический институт (филиал) Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова

СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Рассматривается разработка комплекса средств тестирования моторных масел по диэлектрическим характеристикам. В основу системы положен релаксационный модуль.

Ключевые слова: моторное масло, диэлектрическая проницаемость, удельное сопротивление, релаксационный преобразователь, микроконтроллер, персональный компьютер, метод накопления.

Одна из главных причин износа двигателя внутреннего сгорания (ДВС) – абразивные частицы, разрушающие пары трения. Их образование «внутри» ДВС тесно связано с качеством применяемого для смазки трущихся деталей моторного масла (ММ). Ассортимент масел, поставляемых на рынок отечественными и зарубежными производителями, очень велик. Не исключены и случаи подделок зарекомендовавших себя известных марок. Поэтому проблема экспресс-анализа качества подобных продуктов встает особо остро. Немаловажным является продление срока использования ММ по результатам непрерывного контроля его состояния в процессе эксплуатации.

В данной работе предлагается система экспресс-анализа качества ММ по его электрофизическим характеристикам. За основу взят диэлькометрический метод, базирующийся на взаимодействии электрического поля с веществом. О качестве смеси судят по составу, который оценивается по значениям эквивалентных емкости и сопротивления рабочего пространства первичного измерительного преобразователя (ПИП), напрямую зависящих от диэлектрической проницаемости ϵ и удельного сопротивления ρ . Достоинствами такого метода являются: экспрессность измерений, возможность непрерывного контроля, простота использования, точность и невысокая стоимость средств измерений.

Обобщенная функциональная схема разработанной системы приведена на рис. 1.

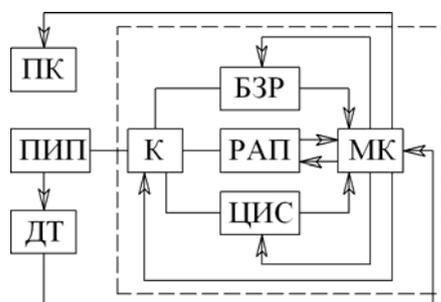


Рис. 1. Функциональная схема системы

Система включает в себя ПИП, вторичный измерительный преобразователь (ВИП), блоки которого обведены пунктиром, датчик температуры (ДТ)

и персональный компьютер (ПК). ВИП составляют коммутатор (К), релаксационный автогенераторный преобразователь (РАП), цепь измерения сопротивления (ЦИС), блок заряда-разряда (БЗР) и микроконтроллер (МК). Работает система следующим образом. По сигналу МК коммутатор подключает ПИП к ЦИС, с выхода которой на вход МК поступает информация о значении измеряемого эквивалентного сопротивления R_x ПИП. Измерительное преобразование в ЦИС инициируется подачей на ее вход измерительного сигнала от МК. Если значение R_x больше 1 МОм, МК подключает ПИП посредством коммутатора к БЗР, на вход которого от МК подается измерительный сигнал, а с выхода на вход МК поступает информация о значениях эквивалентной емкости C_x и R_x . При $R_x < 1$ МОм C_x определяется по выходному сигналу РАП, принцип действия и устройство которого подробно описан в [1]. Следует заметить, что РАП включен в схему на тот случай, если в составе исследуемой смеси находятся сильнополярные вещества, погрешность измерения емкости при этом составит не более 5 %.

Общая принципиальная электрическая схема БЗР и ЦИС представлена на рис. 2. ЦИС реализована в виде дифференцирующей цепи [2], образованной элементами C' , R' и R_x при замкнутых ключах $K1$, $K2$, $K3$ и нулевом потенциале на входе диода VD .

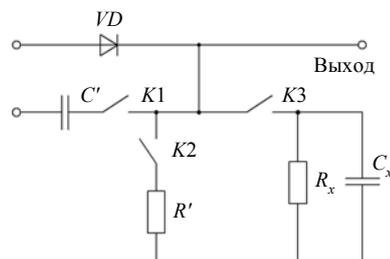


Рис. 2. Общая принципиальная схема БЗР и ЦИС

Однако здесь реализована температурная компенсация зависимости емкости продольного конденсатора C' от температуры окружающей среды, заключающаяся в нахождении собственной постоянной времени при замкнутых $K1$ и $K2$:

$$\tau' = R'C'. \quad (1)$$

Резистор R' в схеме (см. рис. 2) прецизионный с малым температурным коэффициентом сопротивления. С учетом (1) значение измеряемого сопротивления

$$R_x = \frac{\tau R'}{\tau' - \tau}, \quad (2)$$

где τ – постоянная времени цепи при замыкании всех ключей.

В режиме работы БЗР ключ $K1$ разомкнут и C' отключен, $K3$ замкнут. Диод VD выполняет функцию быстродействующего ключа. При подаче на его вход высокого уровня напряжения происходит заряд емкости C_x . При смене логического уровня с высокого на низкий C_x разряжается через R' и R_x (ключи $K2$ и $K3$ замкнуты):

$$\tau'_x = C_x \frac{R'R_x}{R' + R_x}, \quad (3)$$

либо только через R_x ($K2$ разомкнут):

$$\tau_x = C_x R_x. \quad (4)$$

Из (1)–(4):

$$C_x = \frac{\tau'\tau'_x}{R'\tau}; \quad R_x = \frac{R'(\tau_x - \tau'_x)}{\tau'_x}.$$

Чувствительность и погрешность измерения ВИП таким образом определяется тактовой частотой МК, что обусловлено числом тактовых импульсов, пришедших на вход встроенного в МК таймера-счетчика за время разряда измеряемого двухполюсника. В системе был применен МК ATmega16. При тактовой частоте 16 МГц чувствительность преобразователя по каналу C составила 0,2 пФ, погрешность – 0,5 %, погрешность по каналу R – 0,8 %.

Полученные в ходе измерения данные поступают от МК по интерфейсу RS232 в ПК (см. рис. 1). Окно терминала программы приема и обработки измерительной информации приведено на рис. 3. Программа разработана в среде программирования Delphi 7.

Протокол измерения создается в виде файла в формате Excel с указанием текущей даты, времени каждого измерения и температуры исследуемого масла, значение которой поступает в МК от датчика температуры (ДТ), погружаемого в ПИП. В качестве ДТ применялась специализированная микросхема

DS18B20, которая сразу преобразует температуру в цифровой код, и обеспечивает измерение температуры в диапазоне $(-55...+125)$ °С с дискретностью 0,0625 °С. Погрешность в диапазоне $(-10...+85)$ °С составляет $\pm 0,5$ °С.

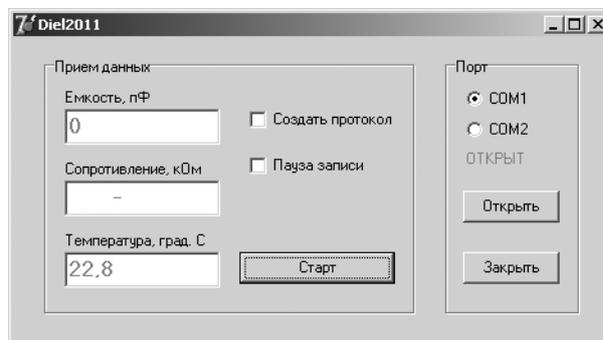


Рис. 3. Окно терминала программы приема данных

ПИП выполнен в виде коаксиального емкостного датчика наливного типа с охраняемым эквипотенциальным электродом, исключающим влияние непостоянства уровня заливки ММ [3].

При определении конечных значений C_x и R_x использовался метод накопления n отсчетов с последующим нахождением среднего арифметического. Этот метод наиболее приемлем для повышения отношения «сигнал/шум» в каналах измерения релаксационных преобразователей, работающих в режиме фиксации малых отклонений измеряемых величин от центрального значения [4]. При $n = 20$ время тестирования ММ составляет около 2 минут.

Для эксперимента были взяты имеющиеся в продаже ММ с различными классами вязкости следующих марок: полусинтетические «ЛУКОЙЛ ЛЮКС» 5W-40, «ЛУКОЙЛ СУПЕР» 10W-40, минеральные «КАМАОЙЛ» 20W-20 (М-8В), «ЛУКОЙЛ СТАНДАРТ» 10W-40, а также отработанное ММ «ЛУКОЙЛ СУПЕР» 5W-40, эксплуатировавшееся в двигателе автомобиля ГАЗ-37053С на протяжении 7000 км. Все измерения проводились при температуре масла 22 °С. Эквивалентные емкость и сопротивление рабочего пространства ПИП, заполненного исследуемыми образцами, полученные в ходе измерений, занесены в таблицу. Здесь же даны типичные физико-химические характеристики масел, заявленные компаниями-производителями.

Электрофизические и физико-химические характеристики ММ

Марка ММ	C , пФ	R , МОм	ТВН, мг КОН/г	Индекс вязкости	Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100 °С	Температура застывания, °С
«ЛУКОЙЛ СУПЕР» 10W-40	48,2	14,4	8,1	156	13,7	-35
«ЛУКОЙЛ ЛЮКС» 5W-40	48,4	15,9	7,84	181	13,8	-40
«ЛУКОЙЛ СТАНДАРТ» 10W-40	46,8	30,9	6,45	158	13,4	-33
«КАМАОЙЛ» 20W-20 (М-8В)	47,4	33,0	4,2	93*	7,5...8,5	-25
«ЛУКОЙЛ СУПЕР» 5W-40 (отраб.)	48,9	48,5	–	–	–	–

* – не менее, по ГОСТ 10541-78.

Как видно из результатов эксперимента, удельное сопротивление ММ понижается с ростом щелочного числа, что можно объяснить увеличением концентрации моющих присадок, одни из которых – детергенты имеют ионный характер. И наоборот, значительно большее значение удельного сопротивления имеет отработанное ММ вследствие «вымывания» этих присадок в процессе эксплуатации ДВС. При этом эквивалентная емкость возрастает как следствие повышения диэлектрической проницаемости, что обусловливается присутствием в отработанном ММ металлических включений, золы, образующейся при сгорании детергентов и различных загрязнений, не вносящих, однако, вклада в проводимость, так как они находятся во взвешенном состоянии вследствие действия дисперсантов [5]. В качестве последних обычно применяются полимеры с полярными группами и слабые кислоты – сукцинимиды. Поэтому можно судить об их количестве по эквивалентной емкости, которая оказалась выше у полусинтетических ММ.

Таким образом, с помощью разработанной системы можно производить оценку качества как товарных ММ по заранее полученным диэлектрическим характеристикам ряда марок конкретного произво-

дителя, так и определять срабатываемость присадок в процессе эксплуатации и тем самым прогнозировать срок замены масла в ДВС.

Библиографические ссылки

1. Макишаков Е. Д. Температурная коррекция в релаксационном автогенераторном измерительном преобразователе // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 3(51). – С. 110–112.
2. Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г. Измерение параметров диссипативных СG-двухполосников. Ч. I // Информационное и техническое обеспечение инновационных технологий : Материалы республиканской науч.-метод. очно-заоч. конф. – Сарапул: Изд-во СПИ, 2010. – С. 61–70.
3. Макишаков Е. Д. Емкостный первичный измерительный преобразователь для сыпучих и жидких материалов // Информационное и техническое обеспечение инновационных технологий : Материалы республиканской науч.-метод. очно-заоч. конф. – Сарапул : Изд-во СПИ, 2011. – С. 34–36.
4. Подкин Ю. Г. Теоретические основы диэлькометрического контроля неравновесных дисперсных систем. – М. : Научтехлитиздат, 2003. – 158 с.
5. Моторные масла / Р. Балтенас [и др.]. – М. ; СПб. : Альфа-Лаб, 2000. – С. 272.

E. D. Makshakov, Post-graduate, Sarapul Polytechnical Institute (branch), Kalashnikov Izhevsk State Technical University

System of Express Analysis of Engine Oils Quality

Development of package for engine oil testing according to dielectric characteristics is considered. The system is based on a relaxation unit.

Key words: engine oil, permittivity, conductivity, relaxation converter, microcontroller, personal computer, backing space method.

УДК 621.314.2

А. Е. Фокеев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
В. К. Барсуков, кандидат технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Выполнено моделирование магнитного поля трехфазного силового трансформатора методом конечных элементов. Исследовано влияние формы токов в нагрузке на процесс перемagnetизации магнитопровода. Перераспределение магнитных потоков при работе трансформатора на нелинейную нагрузку приводит к изменению режима перемagnetизации, увеличению плотности вихревых токов в стали, потере в магнитопроводе и температуры перегрева магнитной системы.

Ключевые слова: трехфазный силовой трансформатор, несинусоидальный ток нагрузки, магнитное поле, конечно-элементное моделирование.

Силовой трансформатор является важнейшим элементом системы электроснабжения, от работы которого зависит надежность функционирования всей системы в целом. Увеличение доли нелинейной нагрузки приводит к возникновению несинусоидальных режимов [1]. Исследование процессов, происходящих в силовых трансформаторах при несинусоидальных режимах, является актуальной задачей, решение которой возможно с при-

менением систем инженерного анализа (CAE – Computer Aided Engineering) [2].

Исследование процессов в трансформаторе при нелинейной нагрузке проводилось экспериментально-расчетным методом. Метод основан на использовании для моделирования магнитного поля измеренных значений токов в обмотках трансформатора при нелинейной нагрузке. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1, а.