

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВНУЮ ГАРМОНИКУ И ОБЕРТОН РЕЗОНАНСА

Загуренко Ю. Т.¹, Разживина К. Р.¹, Полухин И. С.¹
Научный руководитель – канд. техн. наук Ширяев Д. С.¹

¹Университет ИТМО
Julia.Zagurenko@gmail.com

Введение

Определение физико-механических свойств жидкости представляет практический интерес во многих областях. В случае производственной и автомобильной промышленности вязкость и плотность являются ключевыми параметрами для определения качества смазочных материалов. Загрязнение и старение масла непосредственно влияют на эксплуатационные характеристики промышленных устройств и качество их работы [1]. Применение стандартного лабораторного оборудования для и контроля характеристик масла трудоемко или неприменимо из-за стоимости, требований свободного пространства и временных затрат на отбор проб. Поэтому практически выгодным является использование датчиков, обеспечивающих измерение параметров масла в режиме реального времени в процессе эксплуатации. Одним из подходов являются резонансные датчики, основанные на анализе изменений характеристик механического резонатора при его взаимодействии со средой [2].

В рассматриваемой работе используется датчик, который регистрирует частотную зависимость комплексного импеданса резонатора. Принцип работы таких датчиков основывается на анализе характеристик кварцевого резонатора. Его поведение описывается эквивалентной RLC-цепью (модель Баттерворта-Ван Дайка). На полный комплексный импеданс резонатора влияют инерционный вклад, зависящий от плотности жидкости, и вязкий, определяемый произведением вязкости и плотности [2,3]. Различие этих вкладов позволяет сформировать систему уравнений с отдельной зависимостью от каждого параметра [4,5]. Однако вопрос корреляции параметров и устойчивости такого разделения при учете шумов и неточностей калибровки остается недостаточно исследованным. Целью работы является исследование влияния свойств среды на основную гармонику и обертона кварцевого резонатора в рамках модели Баттерворта-Ван Дайка.

Основная часть

В работе рассматривается гипотеза о том, что одновременное измерение основной гармоники и обертона позволяет разделить влияния свойств среды на резонанс по сравнению с одногармоническим частотным методом. Взаимодействие резонатора с вязкой жидкостью приводит к появлению в модели двух вкладов, которые по-разному зависят от частоты: инерционный вклад пропорционален частоте, а вязкий – квадратному корню из частоты. Частотный сдвиг резонанса определяется одновременно линейным и корневым вкладом [4], при этом изменение добротности преимущественно определяется вязким механизмом [5, 6].

Таким образом, использование частоты и добротности основной гармоники, совместно с использованием частоты и добротности обертона, теоретически позволяет разделить плотность и вязкость без применения дополнительных инструментов измерения плотности и проанализировать вклады характеристик.

Выводы

В ходе работы была разработана и проанализирована обобщенная модель резонатора, учитывающая дополнительный оберто́н. Проведен анализ совместного использования двух резонансных гармоник. Это дополнение позволило увеличить количество информационных параметров и учесть различные частотные вклады, зависящие от свойств среды. Инерционный вклад растет быстрее, чем вязкий, что уменьшает корреляцию параметров и улучшает обусловленность системы уравнений. Полученные результаты согласуются с данными работ [5, 6] и демонстрируют, что применение высших гармоник и анализ добротности позволяют перейти от измерения произведения параметров к задаче отдельной идентификации плотности и вязкости за счет различного частотного масштабирования.

Литература

1. Vimal A., Ker P., Leong Y., Abdullah F., Ismail A., Zaini Md. Power transformer insulation system: A review on the reactions, fault detection, challenges and future prospects // Alexandria Engineering Journal. 2022. Vol. 61, no. 10. P. 7697–7713. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.026>.
2. Talib Z., Baba Z., Kurosawa S., Sidek H., Kassimb A., Yunus W. Frequency Behavior of a Quartz Crystal Microbalance (Qcm) in Contact with Selected Solutions // American Journal of Applied Sciences. 2006. Vol. 3, no. 5, P. 1853–1858. <https://thescipub.com/abstract/ajassp.2006.1853.1858>.
3. Chen S., Ding J., Ou C., Zhang C., Yang H., Liu Z., Li X. New Measurement Method of Viscosity, Density, and Dielectric Constant of Transformer Oil Based on Quartz Tuning Fork // IEEE Sensors Journal. 2022. Vol. 22, no. 9, P. 1-1. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3193684>.
4. Ferrari M., Ferrari V., Kanazawa K.K. Dual-harmonic oscillator for quartz crystal resonator sensors // Sensors and Actuators A: Physical. 2008. Vol. 145–146, P. 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2007.10.087>.
5. Toledo J., Manzaneque T., Ruiz-Díez V., Kucera M., Pfusterschmied G., Wistrela E., Schmid U., Sánchez-Rojas J. Piezoelectric resonators and oscillator circuit based on higher-order out-of-plane modes for density-viscosity measurements of liquids // Journal of Micromechanics and Microengineering. 2016. Vol. 26, no. 8, P. 084012. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/26/8/084012>.
6. Riesch C., Reichel E., Keplinger F., Jakoby B. Characterizing vibrating cantilevers for liquid viscosity and density sensing // Journal of Sensors. 2008. Vol. 2008, no. 10, P. 9. <https://doi.org/10.1155/2008/697062>.