

РАСШИРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ВИБРОВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

© 2016 г. А.М. НИЗАМЕТДИНОВ

Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук
e-mail: anizametdinov@yandex.ru

В Ульяновском филиале Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук разработан аппаратно-программный комплекс для анализа низкотемпературных свойств жидкостей. Особенностью комплекса [1] является возможность измерения вязкостных, оптических и температурных свойств жидкости в процессе охлаждения или нагрева пробы. Основным элементом комплекса является вибровискозиметрический датчик [2, 3], состоящий из колебательной системы, выполненной на основе камертона с прикрепленным к его нижнему плечу стеклянным штоком со сферическим зондом на конце. В состав датчика входит также датчик положения зонда на основе оптрона с открытым оптическим каналом, и электромагнитный возбудитель. Электромагнитный возбудитель создает внешнюю периодическую силу, действующую на камертон. Датчик положения зонда преобразует механические колебания камертона в электрический сигнал. Перед началом измерений зонд погружается в исследуемую жидкость.

Для исследования низкотемпературных свойств жидкости исследуемую пробу охлаждают и нагревают по заданному закону. При изменении температуры пробы изменяются её вязкость и плотность, в результате чего изменяется взаимодействие зонда с жидкостью и, как следствие, изменяются добротность и собственная частота колебательной системы датчика. Функция вибровискозиметрического датчика состоит в постоянной регистрации указанных изменений для последующего вычисления по полученным данным вязкости и плотности исследуемой жидкости. В общем случае, для определения вязкости и плотности жидкости необходимо измерять два параметра: собственную частоту и добротность колебательной системы Q .

С целью расширения динамического диапазона измерения вязкости и плотности жидкостей [4] в аппаратно-программном комплексе реализованы два режима работы колебательной системы: автоколебательный режим и режим вынужденных колебаний [1]. Структурная схема измерительного канала комплекса представлена на рис. 1.

В автоколебательном режиме измеряемыми параметрами вибровискозиметрического датчика являются амплитуда и период колебаний (частота). Этих параметров достаточно для определения малых значений вязкости и плотности [4]. Для реализации автоколебательного режима микроконтроллер, управляющий работой комплекса, подает команду на коммутатор для выбора сигнала с выхода фазовращателя. Выбранный сигнал ограничивается по амплитуде с помощью буферного каскада и поступает на вход управляемого источника тока. Сигнал с источника тока поступает на катушку электромагнитного возбудителя, магнитное поле которой раскачивает колебательную систему. Электрический сигнал с выхода датчика положения зонда поступает через предварительный усилитель и фильтр нижних частот на вход фазовращателя. В результате реализуется положительная обратная связь, необходимая для обеспечения автоколебательного режима. В данном режиме таймер-счетчик микроконтроллера программируется на измерение длительности временного интервала между соседними

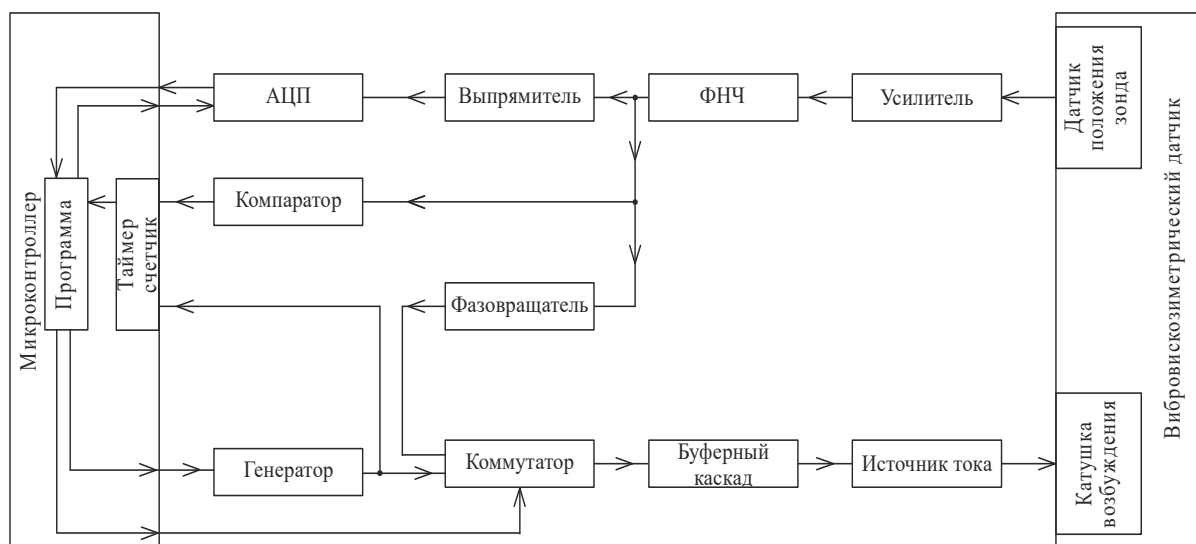


Рис. 1. Структурная схема измерительного канала вибровязкозиметра.

точками перехода через нуль сигнала с выхода датчика положения зонда. По измеренному временному интервалу может быть вычислен период (частота) колебаний зонда. Перед началом испытаний путем изменения фазовой задержки фазовращателя устанавливается максимум амплитуды выходного сигнала вибровязкозиметрического датчика. При больших значениях добротности можно считать, что в этом случае выходная частота датчика точно равна собственной частоте колебательной системы.

Недостатком автоколебательного режима является то, что возможность исследования зависимости от температуры вязкости и плотности жидкости ограничена сравнительно небольшим диапазоном их значений, при которых добротность системы достаточно велика, а изменение частоты автоколебаний в процессе испытания жидкости - мало [4]. Это требование существенно ограничивает номенклатуру исследуемых жидкостей и не позволяет проводить измерения вблизи температуры их застывания [4].

Для исследования жидкостей, имеющих высокую вязкость, чаще всего используется режим вынужденных колебаний [4]. Для реализации данного режима в измерительном комплексе микроконтроллер подает команду на коммутатор, в результате чего размыкается петля положительной обратной связи и в качестве сигнала возбуждения выбирается сигнал с выхода генератора (рис. 1). Данный сигнал, пройдя через буферный каскад, поступает на вход источник тока аналогично сигналу с выхода фазовращателя в режиме автоколебаний. Таймер-счетчик микроконтроллера в режиме вынужденных колебаний измеряет длительность временного интервала между соседними точками перехода через нуль сигнала с генератора и сигнала с выхода датчика положения зонда. Так как период сигналов известен, то по измеренному временному интервалу может быть вычислена разность фаз между данными сигналами.

В режиме вынужденных колебаний в аппаратно-программном комплексе проводятся измерения амплитуды и разности фаз между сигналом возбуждения и сигналом датчика. Сложность вычисления основных параметров колебательной системы в данном режиме (по сравнению с автоколебательным режимом) связана с тем, что при увеличении вязкости помимо уменьшения добротность колебательной системы изменяется и ее собственная частота. Также в этом случае значительно уменьшается амплитуда сигнала с вибровязкозиметрического датчика, что требует принятия специальных мер по улучшению отношения сигнал к шуму на входе АЦП [4].

Анализ существующих вариантов вибрационных методов измерения [4] показал, что в подавляющем большинстве случаев из трех параметров, характеризующих колебания (частота, разность фаз и амплитуда), для измерения параметров колебательной системы используется лишь какие-либо два. При этом третий параметр не контролируется.

ется и, тем более, никак не регулируется. В то же время, в ходе проведенных автором исследований было установлено, что наложение определенных условий на третий параметр (в частности, на фазу колебаний) позволяет существенно улучшить информативность измерений. Так, поддержание разности фаз φ между сигналом возбуждения и выходным сигналом равной $\pi/2$ означает, что измерение проводится на частоте собственных колебаний колебательной системы [4 – 8]. В этом случае по измеренному значению амплитуды вынужденных колебаний возможно определить еще один интересный нас параметр колебательной системы – добротность Q .

Описанный режим вынужденных колебаний с возбуждением на частоте собственных колебаний колебательной системы также реализован в измерительном комплексе. В качестве критерия настройки генератора на собственную частоту колебательной системы используется значение разности фаз $\varphi=\pi/2$ между сигналом возбуждения и выходным сигналом вибровискозиметрического датчика. Положительной особенностью данного режима управления частотой генератора является тот факт, что не требуется постоянное сканирование по частоте. Это связано с монотонным характером зависимости разности фаз от частоты для колебательной системы с одной степенью свободы [5].

Один из самых простых алгоритмов управления частотой генератора в режиме вынужденных колебаний с возбуждением на частоте собственных колебаний колебательной системы заключается в том, что после каждого измерения разности фаз (один раз за период колебаний) частота генератора изменяется на постоянный шаг до получения разности фаз $\varphi=\pi/2$. Но у данного алгоритма есть существенный недостаток. Охлаждение жидкости при испытаниях, как правило, осуществляется до момента застывания жидкости или до минимально возможной температуры, обеспечиваемой системой охлаждения комплекса. При больших вязкостях или после застывания жидкости, когда сигнал с датчика положения зонда сравним с шумами, данный алгоритм создает дополнительные трудности при исследовании поведения жидкостей в момент плавления или уменьшения вязкости (при переключении на нагрев). Это связано с тем, что при отсутствии информации о разности фаз в процессе подстройки частоты устанавливается либо минимально, либо максимально возможная частота на выходе генератора. В результате в момент плавления или уменьшения вязкости (при переключении на нагрев), когда появляется сигнал с выхода датчика положения зонда, процесс установления частоты выходного сигнала генератора равной собственной частоте колебательной системы занимает большое время.

Для устранения описанной проблемы предложен более сложный алгоритм управления генератором в режиме вынужденных колебаний. Его условно можно разделить на три части: алгоритм поиска частоты, алгоритм удержания фазы, алгоритм удержания частоты.

Алгоритм поиска частоты запускается при включении комплекса или сразу же после погружения зонд датчика в исследуемую жидкость перед началом измерений, когда разность фаз между сигналом возбуждения и выходным сигналом датчика отличается более чем на $\pi/20$ (9°) от необходимого значения $\pi/2$. В данный алгоритм заложен метод половинного деления. При этом в начальный момент (после включения комплекса) на выходе генератора устанавливается сигнал с частотой, равной половине полного диапазона регулирования. По измеренному значению разности фаз принимается решение о выборе первой или второй половины диапазона и снова на выходе генератора устанавливается сигнал с частотой половины нового поддиапазона. Данный алгоритм работает до получения отклонения разности фаз меньше чем $\pi/20$ (9°) от необходимого значения $\pi/2$. После выполнения данного условия запускается алгоритм удержания фазы.

Алгоритм удержания фазы управляет генератором аналогично рассмотренному ранее простому алгоритму управления. В данном случае после каждого измерения разности фаз (один раз за период колебаний) частота генератора изменяется на постоянный минимальный шаг до получения разности фаз $\varphi=\pi/2$.

В ходе охлаждения исследуемой пробы жидкости увеличивается её вязкость, что приводит к уменьшению амплитуды выходного сигнала датчика положения зонда. При достижении амплитуды установленного порогового значения запускается алгоритм удержания частоты. Пороговое значение выбрано с учетом шумов в измерительном тракте и превышает их значение в три раза. При переходе в режим удержания частоты частота выходного сигнала генератора не изменяется и сохраняется равной последнему установленному значению. При возрастании амплитуды колебаний и превышении установленного порога вновь запускается алгоритм удержания фазы.

Практическая реализация описанного режима работы аппаратно-программного комплекса не потребовала изменений его аппаратной части. Перестройка частоты генератора реализована программными методами. Также программно учитываются собственные фазо-частотные характеристики трактов системы (рис. 1) до и после вибровискозиметрического датчика. Для этого фазо-частотные характеристики данных трактов предварительно измеряются и заносятся в память микроконтроллера.

Использование описанного алгоритма управления позволило сократить время подготовки прибора к испытанию, а также обеспечить изучение процессов, происходящих в жидкости в момент плавления и при резком увеличении вязкости.

Таким образом, применение режима вынужденных колебаний с поддержанием заданного значения разности фаз путем подстройки частоты возбуждающего сигнала позволяет улучшить метрологические характеристики измерительных систем, использующих вибровискозиметрические датчики. В отличие от автоколебательного, а так же от обычного режима вынужденных колебаний, данный режим позволяет проводить исследования в более широком диапазоне изменения вязкости жидкостей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соломин Б.А.* Аппаратно-программный комплекс для оперативного исследования теплофизических свойств жидкости / Б.А. Соломин, А.М. Низаметдинов, М.Л. Конторович, А.А. Черторийский // Измерительная техника. - 2014 - №3 - С. 49 – 52.
2. Патент РФ № 2419781, МПК G01N25/02. Вибровискозиметрический датчик / Соломин Б.А., Конторович М.Л., Подгорнов А.А. ; патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.- заявка 2008137896, заявл. 22.09.2008, публ.27.05.2011, бюл. № 15.
3. *Соломин Б.А.* Камертонный вибровискозиметрический датчик для исследования термостимулированных процессов в жидкостях / Б.А.Соломин, А.М. Низаметдинов, М.Л. Конторович, А.А. Черторийский // Известия Самарского научного центра РАН - 2015 - Т.17., №2. - С. 26 – 30
4. *Соловьев А.Н.* Вибрационный метод измерения вязкости жидкостей/А. Н. Соловьев, А. Б. Каплун. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1970.
5. *Иориш Ю.И.* Виброметрия. - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. - 756 с.
6. *Соломин Б.А.* Миниатюрный вибровискозиметрический датчик повышенной чувствительности и быстродействия / Б.А.Соломин, А.М. Низаметдинов, М.Л. Конторович, А.А. Черторийский // Датчики и системы - 2015 - №7(194). - С. 35 – 39
7. *Лопатин С.С.* Датчики предельного уровня для жидкостей. Физические принципы работы и возможности вибрационных датчиков / С.С. Лопатин, Х. Пфайффер // Автоматизация в промышленности - 2004 - №12. - С. 24 – 29
8. *Зацеклянный О.В.* Исследование путей расширения диапазона вязкости вибрационного плотномера // Сборник тезисов VIII Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения». г. Ростов-на-Дону, 2012 г. С. 45 – 48.