

А.С. СТЕПАНЯН, В.М. АРУТЮНЯН, З.Н. АДАМЯН,
А.З. АДАМЯН, В.Г. БАРХУДАРЯН

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ НА КВАРЦЕВОМ РЕЗОНАТОРЕ

Предложен датчик влажности на кварцевом резонаторе, который может работать в широком температурном диапазоне. Принцип работы заключается в измерении разности частот двух генераторов на кварцевых резонаторах, получаемой с помощью смесителя. Оба кварцевых резонатора (чувствительный и опорный) расположены рядом в одних и тех же условиях, благодаря чему влияние таких факторов, как температура, давление, изменения напряжения питания и т.д., взаимно компенсируются. Разность частот генераторов, таким образом, изменяется только за счет изменения относительной влажности окружающего воздуха. Описывается принцип получения чувствительного к влажности слоя на кварцевом резонаторе, приводятся измеренные зависимости отклонения частоты от влажности при разных значениях температуры.

Ключевые слова: кварцевый резонатор, датчик, влажность, компенсация, балансный смеситель.

Введение. При решении большинства задач в научной, производственной и практической деятельности часто необходимо измерять относительную влажность среды. При этом необходимо иметь точную информацию не только об относительной влажности окружающей среды, но и о влажности сред с изменяющимися условиями (температура, давление). Ярким примером может служить топливный элемент, где датчики влажности должны работать в широком диапазоне температур (30...110 °C) и измерять относительную влажность от 20 до 100% при наличии различных газов в среде (H₂, O₂).

Благодаря высокой чувствительности к массе кварцевые резонаторы нашли широкое применение в качестве датчиков различных газовых и жидких веществ, [1]. Как известно, резонансная частота пьезоэлектрического кварцевого кристалла снижается, когда на его поверхности адсорбируется постороннее вещество. Изменение резонансной частоты (Δf , Гц) в зависимости от массы осажденного на поверхность кристалла вещества (Δm , г) вычисляется выражением Сауэрбрея [2]:

$$\Delta f = -2,26 \cdot 10^{-6} \frac{f_0^2 \Delta m}{A}, \quad (1)$$

где A – площадь поверхности кристалла, см²; f_0 – основная резонансная частота, Гц.

Как следует из (1), изменение частоты прямо пропорционально массе. Кварцевые резонаторы обладают уникальной способностью регистрировать изменение массы до 10^{-11} г [1]. Если на резонатор нанести тонкий слой чувствительного к тому или иному газу вещества, то резонатор будет реагировать на очень малые концентрации данного газа. Селективность датчика зависит от материала чувствительного слоя. В настоящее время в

качестве чувствительных материалов для кварцевых датчиков применяются, в частности, полимерные структуры. Известны также полимеры, обладающие адсорбционной чувствительностью к влажности окружающей среды [3-5]. Поскольку предлагаемый датчик влажности рассчитан на работу в широком диапазоне температур и влажности, нами был выбран полимер, не теряющий чувствительную способность в этих условиях.

Принцип работы компенсационного датчика. На блок-схеме предложенного датчика влажности (рис.1) чувствительный и опорный кварцевые резонаторы подключены к соответствующим генераторам, сигналы которых подаются на смеситель. На выходе смесителя формируется сигнал, соответствующий разности частот двух генераторов, который измеряется частотомером. Поскольку измерительный (чувствительный) генератор должен устойчиво работать при изменении частоты резонатора на несколько килоггерц, целесообразно было использовать нерезонансную схему (рис.2). Генератор собран на транзисторах VT1, VT2, VT3 по схеме Колпитца и обеспечивает стабильность частоты 10^{-7} [2]. В качестве опорного генератора использовался встроенный генератор двойного сбалансированного смесителя SA612A, который позволяет получить на выходе разность входных частот независимо от температуры и колебаний напряжения.

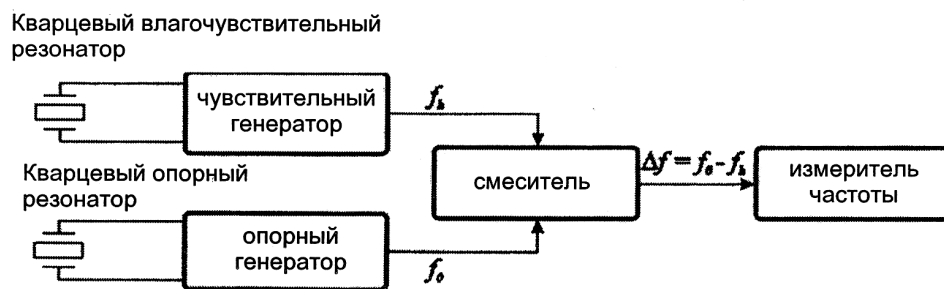


Рис.1. Блок-схема кварцевого датчика влажности (f_0 и f_h – соответственно резонансные частоты опорного и чувствительного генераторов)

Оба резонатора расположены близко друг к другу, за счет чего и обеспечиваются одинаковые условия их работы. Поскольку эти резонаторы являются идентичными, изменения различных условий окружающей среды (за исключением влажности) одинаково влияют на их характеристики, что приводит практически к равным колебаниям их резонансных частот. Эти колебания вычитаются в смесителе, и на его выходе формируется полезный сигнал, зависимость которого от дестабилизирующих факторов минимальна, так как при изменении влажности изменяется только частота чувствительного резонатора.

В качестве измерителя сигнала использовался частотомер ЧЗ-64, а также разработанный нами частотомер на однокристальном микроконтроллере, подключенный к дисплею. При соответствующем программном обеспечении эта система способна выдавать значение относительной влажности на дисплей в режиме реального времени. При этом модуль получается весьма малогабаритным, с малой потребляемой мощностью и может

питаться от гальванического элемента. Данная система находится на стадии окончательной разработки.

Экспериментальные данные. Для датчика влажности были выбраны кварцевые резонаторы АТ-среза с резонансной частотой 6,67 МГц, которые предварительно были подвержены химической очистке. В качестве чувствительного элемента был выбран поли-ε-капроамид, поскольку этот полимер сохраняет свою чувствительность к влаге в широком диапазоне температур. Отметим, что он практически нечувствителен к водороду и кислороду. С целью нанесения полимера на кристалл был приготовлен 2,5-процентный раствор поли-(ε-капроамида) в муравьиной кислоте. Тонкие полимерные слои наносились на обе поверхности кристалла с помощью центрифугирования со скоростью 3000 об/мин в течение 30 мин. Затем проводилась операция полимеризации пленок при 250 °С и последующей полимеризации. Сдвиг резонансной частоты после нанесения пленок составил 1900 Гц.

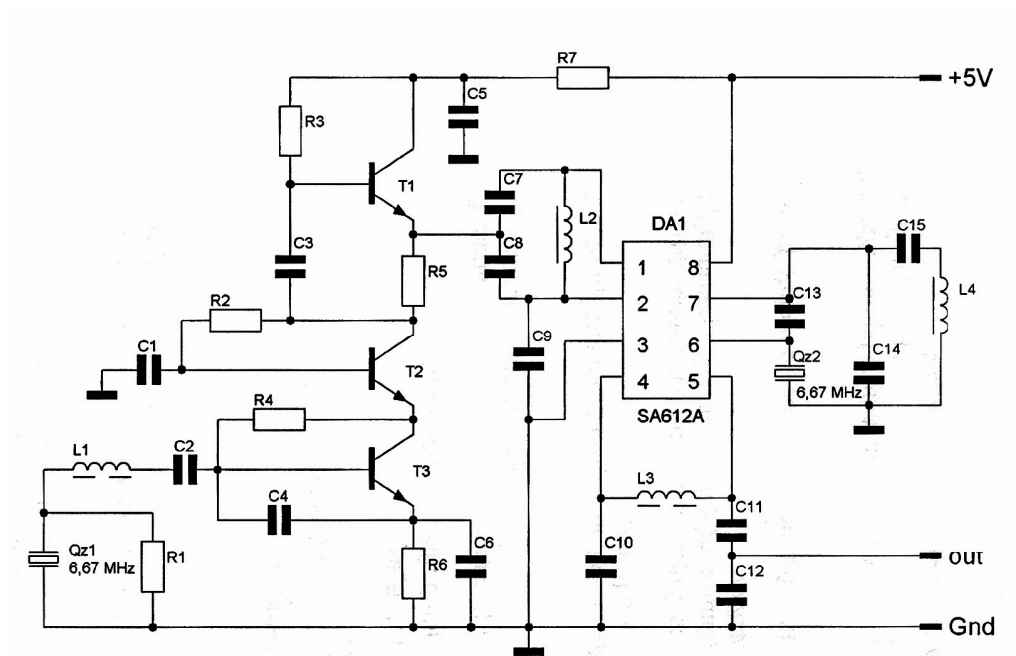


Рис. 2. Электрическая схема кварцевого датчика влажности (Qz1 и Qz2 – соответственно чувствительный и опорный резонаторы)

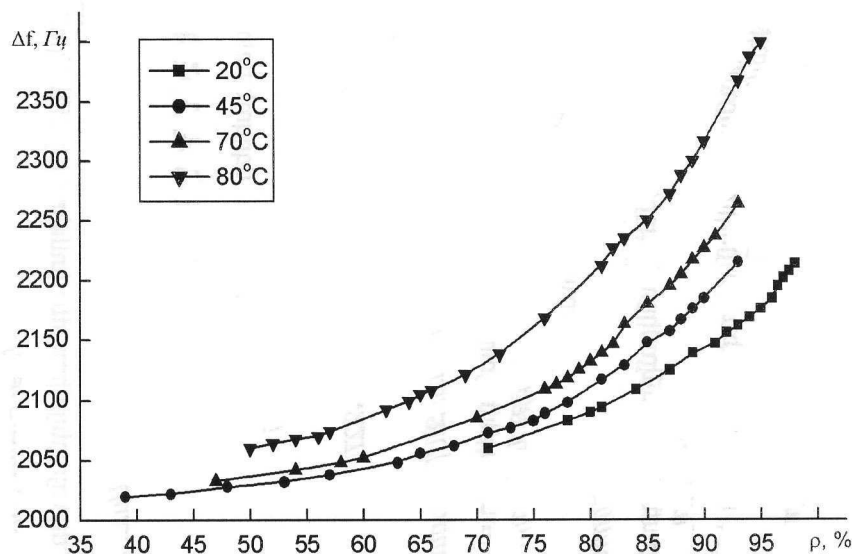


Рис. 3. Зависимость Δf от относительной влажности ρ при различных температурах

Эксперименты проводились при различных температурах в диапазоне изменения относительной влажности от 20 до 95%. Для обеспечения влажной среды использовалась специальная стеклянная камера, в которой вместе с кварцевым датчиком был расположен эталонный измеритель влажности.

Обсуждение результатов. Зависимости Δf от относительной влажности среды, измеренные при различных температурах (рис. 3), показывают, что поскольку резонансная частота кварцевого кристалла зависит от температуры, причем при больших температурах эта зависимость становится более сильной, то рассматриваемая разность частот резонаторов, скорее всего, является следствием технологических разбросов при изготовлении самих кристаллов.

Таким образом, нами разработан и сконструирован компенсационный датчик влажности, функционирующий в диапазоне температур от 20 до 90 °C при наличии разных газовых сред H_2 и O_2 , измеряющий относительную влажность в диапазоне 20...95%, точность которого составляет 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альтшуллер Г.Б., Елфимов Н.Н., Шакулин В.Г.** Кварцевые генераторы: Справ. пособие. - М.: Радио и связь, 1984. - 231с.
2. **Sauerbrey G.Z.** Z. Physik. - 1959. - V.155. - P.206-228.
3. **Radeva E., Georgiev V., Spassov L., Koprinarov N. and Kanev St.** Humidity adsorptive properties of thin fullerene layers studied by means of quartz micro-balance, S&A B. - 1997. - V. 42. - P.11-13.
4. **Schramm U., Meinhold D. et al.** A QMB-based temperature-modulated ammonia sensor for humid air, S&A B. - 2000. - V. 67. - P.219-226.

5. **Bearzotti A., Fratoddi I., Palummo L., Petrocco S.** Highly ethynylated polymers: synthesis and applications for humidity sensors, S&A. – 2001. – V. B76. – P.316–321.

ЕГУ. Материал поступил в редакцию 18.06.2004.

**Ա.Ս. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Վ.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Զ.Ն. ԱԴԱՄՅԱՆ,
Ա.Զ. ԱԴԱՄՅԱՆ, Վ.Գ. ԲԱՐԽՈՒԴԱՐՅԱՆ**

**ՀԱՄԱԿՇՈՎՈՂ ԽՈՆԱՎՈՒԹՅԱՆ ՏՎԻՉ՝
ԿՎԱՐՑԱՅԻՆ ՌԵԶՈՆԱՏՈՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ**

Առաջարկվում է կվարցային ռեզոնատորի հիման վրա աշխատող խոնավության տվիչ, որը կարող է աշխատել լայն ջերմաստիճանային տիրույթում: Աշխատանքի սկզբունքը կվարցային ռեզոնատորներով երկու գեներատորների հաճախությունների տարբերության (որն ստացվում է խառնիչի միջոցով) չափումն է: Երկու կվարցային ռեզոնատորները (զգայուն և հենքային) գտնվում են կողք-կողքի միևնույն պայմաններում, ինչի շնորհիվ այնպիսի գործոնների ազդեցությունները, ինչպիսիք են ջերմաստիճանը, ճնշումը և սնման լարման փոփոխությունները համակշռվում են: Այսպիսով, գեներատորների հաճախությունների տարբերությունը փոփոխություններ է կրում միայն շրջապատող օդի հարաբերական խոնավության փոփոխությունների հետևանքով: Նկարագրվում է կվարցային ռեզոնատորի վրա խոնավազգայուն շերտի ստացման սկզբունքը, բերված են տարբեր ջերմաստիճաններում հաճախությունների տարբերության կախվածությունները խոնավությունից:

**A.S. STEPANYAN, V.M. AROUTIOUNIAN, Z.N. ADAMYAN,
A.Z. ADAMYAN, V.G. BARKHUDARYAN**

QCM - BASED COMPENSATED HUMIDITY SENSOR

The humidity sensor on the quartz crystal microbalance (QCM) working in a wide temperature range is suggested. The principle of operation is the measurement of the two QCM oscillator frequency difference obtained by using a mixer. Both QCM-s (sensitive and reference) are located in the same conditions, due to what the influences of such factors as temperature, pressure, supply voltage variations, etc., are mutually compensated. Thus, the oscillator frequency difference is changed only due to the change of the relative humidity in the surrounding air. The principle of obtaining polymer-coated QCM-s is presented. The measured dependences of the frequency deviation on humidity at different ranges of temperature are given.