

УДК 677.014.332:543.812

СОРБЦИОННО-КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ВЛАЖНОСТИ

Б.С. САЖИН, М.П. ТЮРИН, Ю.Л. БОГОРОДСКИЙ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Используемые в настоящее время в текстильной промышленности приборы для измерения влажности (ГС-210, ГП-215, ТГМ-205, БМ-2, Волна-5, Байкал-5 и др.) имеют близкие параметры и практически равноценны в стационарных режимах работы. Когда же их требуется сочетать с быстродействующими системами управления технологическими процессами текстильного производства, датчики указанных приборов не обеспечивают необходимых требований по точности и особенно по инерционности.

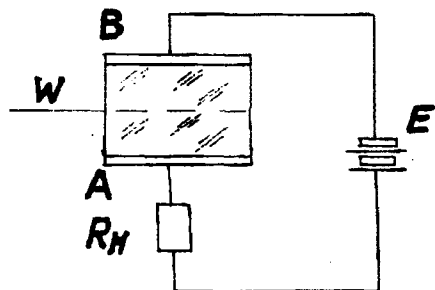


Рис. 1

На рис.1 приведена эквивалентная схема замещения сорбционно-кондуктометрического датчика влажности (СКД).

Если к датчику СКД приложено переменное напряжение стабильной амплитуды u_{∂} , то ток i_{∂} , протекающий через него, будет обратно пропорционален сопротивлению датчика R_{∂} :

$$i_{\partial} = \frac{u_{\partial}}{R_{\partial}}$$

При изучении поведения датчика влажности необходимо учитывать нелинейные свойства гигроскопического материала. Они выражаются в том, что полное сопротивление датчика можно рассматривать состоящим из двух составляющих, одна из которых не зависит от влажности и тока, а другая обратно пропорциональна току, зависящему от влажности:

$$R_{\partial} = R_H + \frac{R_w i_H}{i_{\partial}} \tag{1}$$

В свою очередь ток, протекающий через датчик, является суммой двух токов, зависящих и не зависящих от влажности:

$$I_{\partial} = i_H i_w \tag{2}$$

Различные исследователи электрических сорбционных датчиков пришли к выводу, что зависимость сопротивления электролита от влажности выражается экспоненциальным законом

$$R_{\partial} = R_m + e^{\frac{w}{w_m}} \tag{3}$$

Отсюда следует, что дифференциальная чувствительность датчика имеет вид

$$\mathcal{C} = dR_{\partial} / dW = kR_{\partial} \tag{4}$$

Считая, что напряжение, подаваемое на датчик, не меняется, и учитывая уравнения (1), (2), (4) для первой производной от тока по влажности получим

$$\frac{di_{\partial}}{dW} = k \frac{u_{\partial}}{R_{\partial}} = \frac{ku_{\partial}}{R_{H} + \frac{R_{W}i_{H}}{i_{H} + i_{W}}} \quad (5)$$

Решение этого уравнения можно представить в виде

$$W = W_0 + b \ln(i_{H} + i_{W}) + c(i_{H} + i_{W}). \quad (6)$$

Полученная зависимость оказалась более сложной, чем описанная в литературе [1...5].

Для подтверждения этой зависимости проведены дополнительные исследования. При этом использовали обычную схему измерений и обычную приборную базу. Принципиальная схема измерений представлена на рис. 2.

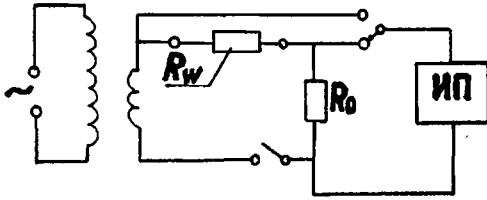


Рис. 2

Напряжение на датчик влажности подавалось от понижающего трансформатора, питание которого осуществлялось от сети переменного тока 220 В через стабилизатор напряжения (на рис.2 не показан).

В процессе исследований измеряли напряжение u на постоянном, стандартном сопротивлении R_0 и напряжение u_H на соединенных последовательно датчике влажности R_W и сопротивлении R_0 . В качестве измерительного прибора ИП использовали мост переменного тока R316.

Напряжение на сопротивлении R_0 можно выразить через соотношение $u = i_{\partial} R_0$. Таким образом, напряжение на стандартном постоянном сопротивлении R_0 прямо пропорционально величине тока, протекающего через датчик влажности, и тем самым однозначно определяет величину влажности.

Испытуемые датчики влажности были изготовлены в виде стержней из фторопласта длиной 55 мм и диаметром 26 мм, на которых были помещены 25 витков двойного медного провода диаметром 0,7 мм. Гигроскопический слой создавался эпоксидной смолой горячего отверждения с добавкой различных хлоридов (хлорида лития и хлорида натрия).

Обработку результатов эксперимента проводили с помощью метода наименьших квадратов. Контроль за влажностью воздуха осуществляли аспирационным психрометром. В результате получены уравнения регрессии в соответствии с предложенной моделью (уравнение (6)), в котором величина тока i_{∂} была заменена прямо пропорциональной ей величиной напряжения на сопротивлении R_0 .

Для датчика с хлоридом лития уравнение имеет вид

$$W_{Li} = 17,9 + 5,95 \ln(u + 45) + 4,3 \cdot 10^{-3} u, \quad (7)$$

где $u = i_{\partial} R_0$, мВ; W – влажность, %.

Для датчиков, выполненных с использованием хлорида натрия, характер зависимости не изменился, однако чувствительность существенно возросла:

$$W_{Na} = 35 + 14,2 \ln(u + 2) + 0,01u. \quad (8)$$

Отклонения измеренных значений влажности от расчетных находились в пределах 3%.

Дифференциальную чувствительность датчиков вычисляли по формуле, отличной от уравнения (4). Поскольку в процессе эксперимента зависимость сопротивления от влажности определяли не напрямую, а опосредованно, через падение напряжения на сопротивлении R_0 , то правомерно для сравнения чувствительности обоих датчиков дифференциальную производную определять как производную от напряжения по влажности. В этом случае

$$\chi = \frac{du}{dW} = \frac{u + u_0}{b + c(u + u_0)}. \quad (9)$$

Сравнив чувствительности датчиков влажности на основе LiCl и NaCl, получим

$$\frac{\chi_{Li}}{\chi_{Na}} = \frac{u + 45}{u + 2} \frac{14,2 + 0,01(u + 2)}{5,95 + 0,0043(u + 45)}. \quad (10)$$

Расчеты по этой формуле показывают, что в области влажности 45% датчик с хлоридом натрия в 50 раз чувствительнее датчика с хлоридом лития. В области, близкой к 100% влажности, это преимущество снижается до 3.

Испытанные датчики имели большие габаритные размеры и толщину гигроскопического слоя и по этой причине оказались слишком инерционными (с запаздыванием на несколько минут) и с гистерезисом, достигающим 10%. Справедливость этого подтверждена исследованиями на миниатюрном датчике, представляющим собой стеклянную трубку, в которой размещались два медных изолированных провода диаметром 0,3 мм. Рабочий конец трубки был отшлифован до 9-го класса чистоты. В качестве гигроскопического слоя использовались те же хлориды, что и в предыдущих случаях.

Зависимость влажности от напряжения для этого датчика описывается также зависимостью (6) при следующих значениях коэффициентов:

$$W_m = 66 + 13 \ln(u + 0,02) + 0,05u. \quad (11)$$

Сравнение результатов расчета по формуле (11) с экспериментальными данными показало, что наибольшие отклонения не превышают 4%.

Чувствительность миниатюрного датчика, вычисленная по формуле (11), оказалась выше чувствительности крупногабаритных датчиков.

ВЫВОДЫ

1. Нами установлены более сложные зависимости сопротивления от влажности для гигроскопических мастик, содержащих

органические связующие вещества с добавками хлоридов щелочных металлов. Экспериментальные исследования подтверждают правильность схемы замещения в виде двух составляющих, одна из которых не зависит, а другая зависит от влажности окружающей среды.

2. Доказано, что датчики исследованного типа имеют нижний предел измерения $W_{н.пр} = W_0 + b \ln(i_n) + c i_n$, ниже которого использовать датчик не рекомендуется. Однако расширить границы применимости датчиков можно путем уменьшения массы и площади поверхности гигроскопического материала, что также сказывается на снижении инерционности датчика и уменьшении гистерезиса.

3. Определено, что датчики, используемые в качестве гигроскопического материала мастику из хлорида натрия, имеют чувствительность в 50 раз превышающую чувствительность датчиков из хлорида лития. Уменьшение размеров гигроскопического слоя (миниатюризация датчиков) позволяет увеличить его чувствительность еще в несколько раз.

4. Установленные в процессе исследований закономерности могут быть использованы при разработке промышленных гигрометров для управления технологическими процессами в текстильной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гигрометр сорбционный ГС-210. IE2.844.058 ПСД, 1983.
2. Справочник по прикладной измерительной технике / Под ред. Д. Консидейна и С. Росса. – М.: Энергия, 1968.
3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
4. // Измерительная техника. № 6, 1990.
5. Измерения в промышленности. Справочник в 3-х кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура / Под ред. Профоса П. – М.: Металлургия, 1990.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 04.10.01.