Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXII, вып. 1, 1972 г.

ВАРИКАПЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЕМКОСТНЫХ ВЛАГОМЕРОВ

Е. С. Кричевский, А. Ф. Авдеева, Н. С. Сабадаш, Э. А. Кальм

Известны многочисленные способы измерения влажности твердых, жидких и сыпучих материалов: кондуктометрический, основанный на использовании зависимости между влажностью и активным сопротивлением материала; емкостный — между влажностью и диэлектрической проницаемостью (точнее — кажущейся емкостью); нейтронный; ядерного магнитного резонанса — ямр и т. д.

Наиболее распространен емкостный способ [1], хотя его применение ограничено: 1) влиянием активного сопротивления контролируемого материала на устойчивость работы измерительного генератора, что исключает измерение влажности материалов с большими потерями ($\mathrm{tg}\delta > 1$); 2) резким снижением чувствительности (крутизны преобразования) при большой влажности материала, что также объясняется влиянием активных потерь в материале.

Методы уменьшения влияния активных потерь при емкостном способе также известны и сводятся, в основном, к подключению последовательно с конденсаторным датчиком дополнительной емкости, либо к включению датчика в контур рабочего генератора через понижающий высокочастотный трансформатор. Нетрудно математически показать, что оба метода приводят к существенному снижению чувствительности емкостных влагометрических систем.

В основу емкостного способа измерения влажности положена зависимость между кажущейся емкостью датчика с контролируемым материалом и его влажностью. Поскольку емкостный датчик с материалом представляет собой конденсатор с потерями, его кажущаяся емкость

$$C_к = \varepsilon C_0 (1 + \mathrm{tg}^2\delta), \qquad (1)$$

где C_0 — воздушная емкость датчика; ε — диэлектрическая проницаемость контролируемого материала; $\mathrm{tg}\delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь в материале.

Когда контролируемый материал близок по своим свойствам к диэлектрику ($\mathrm{tg}\delta = 0$), понятия «истинной» и «кажущейся» емкости совпадают

$$C_к = \varepsilon \cdot C_0. \qquad (2)$$

Однако для подавляющего большинства материалов $\mathrm{tg}\delta \neq 0$. Поэтому на результатах измерений влажности емкостным способом существенно сказываются потери в материале. Связь между $C_к$ и контролируемой емкостью C_x имеет минимум при

$$C_x + C_1 = \frac{1}{\omega r_x}, \tag{3}$$

где (C_x+C_1) — суммарная емкость измерительного контура; ω — круговая частота; r_x — активное сопротивление материала.

Как видно из рис. 1, рост измеряемой величины $C_к$ будет отображать рост $C_x(W)$ только в том случае, если при любых значениях влажности

$$(C_x + C_1) > \frac{1}{\omega r_x}. \tag{4}$$

Известно, что с увеличением влажности сопротивление материала r_x падает, и тогда, даже при сохранении условия (4), измерения ведутся на нижней части восходящей ветви кривой рис. 1, т. е. в области низких чувствительностей. Снижение чувствительности обычного емкостного влагомера с ростом влажности хорошо прослеживается на рис. 2 (кривая *а*).

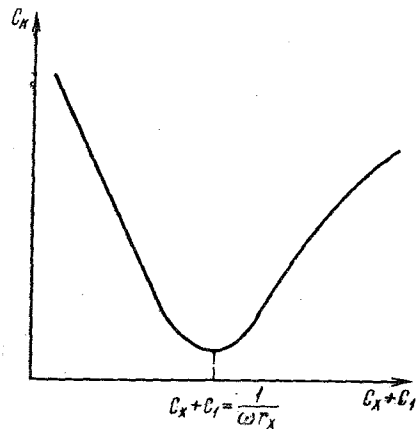


Рис. 1. График зависимости кажущейся емкости от емкости измерительного контура $C_к=F(C_x+C_1)$.

Кафедрой автоматизации производственных процессов ЛГИ предложен комбинированный способ измерения влажности материалов. Влагометрическая система, выполненная в соответствии с ним, показала существенно повышенную чувствительность (крутизну преобразования) при измерении влажности материалов с низкой добротностью, в частности угля. В этой системе используется информация, одновременно поступающая от двух датчиков. Один из них является обычным конденсаторным датчиком, применяемым при емкостных измерениях [2], а второй — датчиком кондуктометрического типа

$$C = f_1(W).$$

Емкостный датчик $Д_1$ вводится в колебательный контур высокочастотного генератора измерительного блока (рис. 3). В этом контуре находятся также конденсатор настройки C_1, разделительный конденсатор C и полупроводниковый конденсатор — варикап C_2. Барьерная емкость p—n-перехода C_2 зависит от величины напряжения смещения $U_{см}$.

Зависимость емкости p—n-перехода от напряжения на нем нелинейна и достаточно точно может определяться по формуле [3]

$$C_2 = \frac{C_0}{\sqrt{\frac{U}{\varphi}+1}}, \tag{5}$$

где C_2 — дифференциальная емкость p—n-перехода; C_0 — емкость перехода

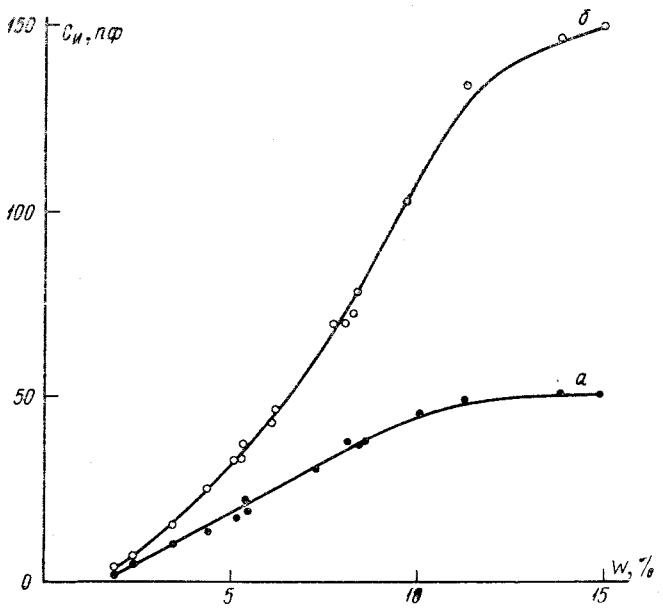


Рис. 2. Зависимость измеряемой емкости $C_и$ от влажности пробы W для обычного диэлькометрического влагомера *а* и для системы по комбинированному способу *б*

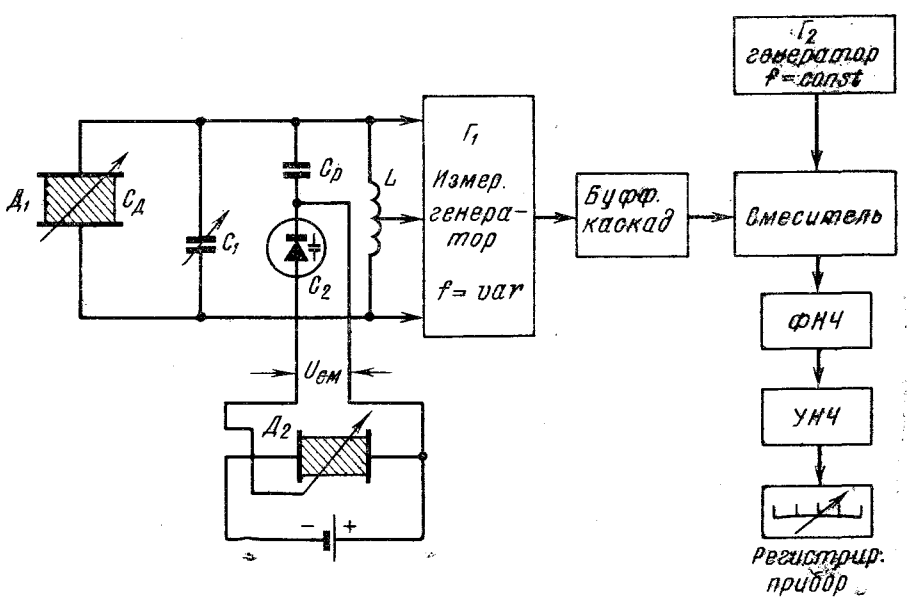


Рис. 3. Блок-схема системы измерения влажности комбинированным способом: $Д_1$ — датчик; $C_д = f_1(W)$; $Д_2$ — датчик, $K = f_2(W)$; C_2 — варикап; $C_р$ и C_1 — емкости соответственно разделительная и настроечная

при отсутствии внешнего напряжения на нем; U — внешнее напряжение, $U=U_{см}$; φ — контактная разность потенциалов.

Величина же $U_{см}$ находится в функциональной зависимости от сопротивления второго датчика $Д_2$ $R=f_2(W)$, служащего делителем напряжения источника постоянного тока, $E=\text{const}$. Сопротивление датчика $Д_2$ меняется обратно пропорционально изменению влажности контролируемого материала. Следовательно, с ростом влажности уменьшение r_x вызовет снижение $U_{см}$, подаваемого на варикап, и, в соответствии с характеристикой $C_2=f(U_{см})$ варикапа, увеличение его емкости. Это приводит к увеличению общего изменения емкости входной цепи измерительного блока, что увеличивает крутизну преобразования.

Как показано выше, повышение суммарной емкости контура при высоких влажностях обеспечивает выполнение условия

$$C_\Sigma \gg \frac{1}{\omega r_{\min}}, \tag{6}$$

где

$$C_\Sigma = C_x + C_1 + C_{2\max}. \tag{7}$$

Следовательно, комбинированная система работает в значительно лучших условиях, чем обычная емкостная, а это позволяет получать большую чувствительность — крутизну преобразования (см. рис. 2, зависимость *б*). Кроме того, варикап позволяет одновременно вводить температурную поправку в результаты измерения при изменениях температур материала или окружающей среды. Это объясняется зависимостью контактной разности потенциалов p—n-перехода φ от температуры [4]

$$\varphi = \frac{1}{\Lambda} \ln \frac{p_p \cdot n_n}{n_i^2}, \tag{8}$$

где p_p и n_n — концентрации основных носителей в p- и n-областях (они пропорциональны удельным проводимостям соответствующих областей); n_i — собственная концентрация носителей, определяемая свойствами полупроводника;

$$\Lambda = \frac{q}{KT}, \tag{9}$$

q — заряд электрона $(1{,}6 \cdot 10^{-19} К)$; K — постоянная Больцмана $(1{,}38 \cdot 10^{-29}$ *дж/град*); T — абсолютная температура.

Например, повышение температуры материала приводит к увеличению C_1 и φ. Увеличение φ снижает емкость C_2, а общая емкость входной цепи остается неизменной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлинер М. А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. Энергия, 1965.
2. Кричевский Е. С. и др. Устройство для измерения влажности исследуемых материалов. Бюлл. изобр., 1970, № 28, № 280931.
3. Черкашина А. Г. Элементы автоматики на варикапах. Энергия, 1968.
4. Смит Р. Полупроводники. ИЛ, 1962.