

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ
В СХЕМЕ КОМПЕНСАЦИИ ВЛАГОМЕРА ТИПА F-МЕТР

Е.С.Кричевский, В.П.Терехов, С.С.Галушкин

В дискретной влагометрической системе типа F-метр [3] вся совокупность измерений по емкостной составляющей приводится к температуре градуирования $T_{гр}$ в соответствии с температурным коэффициентом емкости измеряемого материала $TK\alpha$, т.е.

$$C_{м1} = C_{мгр} + TK\alpha(T_1 - T_{гр}), \quad (1)$$

где $C_{м1}$ и $C_{мгр}$ — емкости, соответствующие материалу определенной влажности при температурах T_1 и $T_{гр}$; T_1 — температура измеряемого материала.

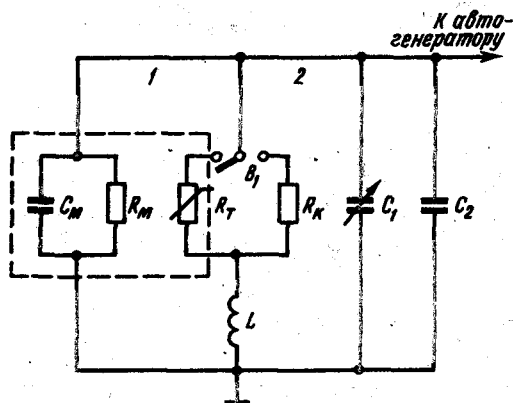


Рис. 1. Схема температурной компенсации влагомера
типа F-метр
1 — измерение; 2 — контроль

Одна из схем автоматической термокомпенсации в дискретных влагомерах типа F-метр может быть реализована включением в индуктивную ветвь контура измерительного автогенератора термосопротивления, встроенного в емкостной датчик (рис. 1).

При измерении материала одной и той же влажности с температурой, отличной от температуры градуировки, резонансная частота контура

$$\omega_1 = \omega_{гр} \sqrt{\frac{C_{м гр}}{C_{м гр} + TK\alpha(T_1 - T_{гр})}}, \quad (2)$$

где $\omega_{гр} = \sqrt{\frac{1}{LC_{м гр}}}$ - резонансная частота контура при температуре градуировки $T_{гр}$.

Резонансная частота контура при включении в его индуктивную ветвь термосопротивления выражается приведенной Б.А.Асеевым [1] формулой

$$\omega_2 = \omega_{гр} \sqrt{1 - \frac{R_T^2}{\rho^2}}, \quad (3)$$

где $\rho = \sqrt{L/c}$ - волновое сопротивление контура; R_T - сопротивление терморезистора. Для полупроводникового терморезистора зависимость сопротивления от температуры имеет вид [2]

$$R_T = R_{20} e^{\frac{\beta(293 - T_1)}{293T_1}}, \quad (4)$$

где R_{20} - сопротивление терморезистора при температуре 20°C; β - постоянная терморезистора.

Из выражения (2) следует: при измерении материала одной и той же влажности, имеющего $TK\alpha > 0$, с ростом температуры резонансная частота контура уменьшается. Рост температуры термосопротивления (при температурном коэффициенте сопротивления $TKR < 0$), как видно из формулы (3), вызывает увеличение резонансной частоты. При понижении температуры измеряемого материала наблюдается повышение частоты измерительного контура от $TK\alpha$ материала, и встречный процесс (понижение частоты) от изменения сопротивления терморезистора.

Таким образом, можно утверждать, что при определенном соответствии $TK\alpha$ измеряемого материала и TKR терморезистора может быть обеспечена взаимная компенсация расстройки колебательного контура по частоте от изменения температуры измеряемого материала и от изменения сопротивления терморезистора, находящегося в контакте с измеряемым материалом.

Резонансная частота контура с учетом $TK\alpha$ измеряемого материала и TKR полупроводникового терморезистора определяется формулой

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC_{м гр}}} \cdot \sqrt{\frac{C_{м гр}}{C_{м гр} + TK\alpha(T_1 - T_{гр})}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_{20}^2}{\rho^2} \left(e^{\frac{\beta(293 - T_1)}{293T_1}} \right)^2}. \quad (5)$$

Для осуществления термокомпенсации в заданном интервале температур необходимо, чтобы произведение

$$K = K_1 K_2 = \sqrt{\frac{C_{м гр}}{C_{м гр} + TK\alpha(T_1 - T_{гр})}} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_{20}^2}{\rho^2} \left(e^{\frac{\beta(293 - T_1)}{293T_1}} \right)^2} \quad (6)$$

оставалось постоянным, либо лежало в границах, определяемых требуемой точностью компенсации.

Произведем расчет схемы термокомпенсации для дискретной системы определения влажности апатитового концентрата, применяющейся на комбинате "Апатит" [3].

Температурный интервал проб апатита составляет 20–40°C; $\text{TK}\alpha = 0,2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$; $T_{\text{гр}} = 293\text{K}$. Параметры контура измерительного автогенератора: $C = C_1 + C_2 = 1000 \text{ пФ}$; $L = 10^{-4} \text{ Г}$; $\rho^2 = 10^5$.

Величина сопротивления R_{20} может быть определена из условия равенства произведения $K = K_1 K_2$ при температуре $T_1 = 293 \text{ K}$ и при одной из температур внутри интервала (в частности при $T_1 = 308 \text{ K}$):

$$R_{20} = \sqrt{\rho^2 \frac{1 - \frac{C_{\text{м гр}}}{C_{\text{м гр}} + \text{TK}\alpha(T_1 - T_{\text{гр}})}}{1 - \frac{C_{\text{м гр}}}{C_{\text{м гр}} + \text{TK}\alpha(T_1 - T_{\text{гр}})} \left(e^{\frac{\text{TK}\alpha(T_1 - T_1)}{293T_1}} \right)^2}} \quad (7)$$

Для указанных значений T_1 , $\text{TK}\alpha$, $C_{\text{м гр}} \approx C$ при $\beta = 2300$ (терморезистор типа ММТ-12) получаем $R_{20} = 23,6 \text{ Ом}$. Выбрав терморезистор типа ММТ-12 с $R_{20} = 24 \text{ Ом}$, вычисляем значение K . В результате расчета построен график (рис. 2).

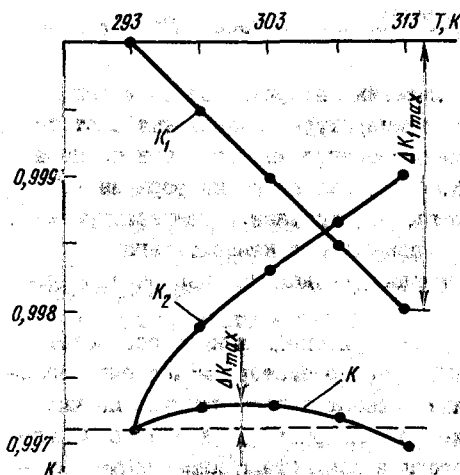


Рис. 2. Расчетные температурные зависимости K_1 — для влагометрической системы без термокомпенсации; K_2 — для терморезистора; K — для термокомпенсированной влагометрической системы

Учитывая, что включение активного сопротивления терморезистора в колебательный контур приводит к снижению добротности контура, а при значительном сопротивлении терморезистора, включенного в индуктивную ветвь, может произойти срыв генерации автогенератора, максимальное значение шунтирующего сопротивления терморезистора R_{20} должно отвечать условию

$$R_{\text{ш}} = \frac{\rho^2}{R_{20}} > R_{\text{ср}} \quad (8)$$

где $R_{\text{ш}}$ — величина сопротивления R_{20} при пересчете в контур с параллельным соединением R, L, C ; $R_{\text{ср}}$ — сопротивление срыва генерации в контуре с параллельным со-

единением R, L, C .

В рассматриваемом случае $R_{\text{ш}} = 4,2 \text{ кОм}$, что обеспечивает устойчивую автогенерацию.

Точность компенсации оценим отношением среднеквадратичных отклонений некомпенсированной и компенсированной систем. Среднеквадратичное отклонение некомпенсированной системы (см. рис. 2)

$$J_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 (K_i - K_i')^2 \frac{313 - 293}{4}} \approx 6,2 \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

скомпенсированной системы

$$J_2 = \sqrt{\sum_{n=1}^{n=4} (K - K')^2 \frac{313 - 293}{4}} \approx 5,9 \cdot 10^{-4}. \quad (10)$$

В формулах (9) и (10) K_1 , K'_1 и K , K' — соответственно для значений температуры T_1 и $T = 293$ К.

Отношение среднеквадратичных отклонений составляет 9%, а отношение максимальных погрешностей не превышает 7,5%. Для уменьшения ошибки можно варьировать параметры терморезистора β и R_{20} вблизи расчетных значений. Экспериментальные характеристики, полученные при работе влагомера с вышеуказанными параметрами схемы термокомпенсации, были близки к расчетным.

Во влагомерах типа F-метр обычно предусматривается периодическая настройка начальных установок (установка нулевых биений), которая в анализируемом устройстве (см. рис. 1) может быть осуществлена подключением в контур вместо терморезистора калибровочного сопротивления R_K (переключатель B_1 в положение "контроль"). Величина сопротивления R_K выбирается равной сопротивлению терморезистора при температуре градуирования $T = T_{гр}$.

Л и т е р а т у р а

1. Асеев Б.П. Колебательные цепи. М., Связьиздат, 1955.
2. Зайцев Ю.В., Марченко А.Н. Полупроводниковые резисторы в радиосхемах. М., "Энергия", 1971.
3. Кричевский Е.С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых. М., "Недра", 1972.