

В. Б. КАСИМЕНКО, Е. Т. КУЛИН, С. С. ШУШКЕВИЧ

(Минск)

### ЕМКОСТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ-МИКРОМАНОМЕТР

Описана новая конструкция электрического преобразователя малых разностей давлений в пропорциональные изменения емкости цилиндрического конденсатора с жидким подвижным электродом. При сохранении функций показывающего жидкостного микроманометра преобразователь является электрическим датчиком давления и с помощью простого радиотехнического устройства позволяет осуществлять графическую регистрацию малых давлений на автоматическом потенциометре типа ЭПП-09. Преобразователь-микроманометр может быть использован для автоматизации и повышения точности измерений в научных исследованиях, а также в промышленных условиях, когда необходима графическая регистрация малых изменений давления.

Жидкостные микроманометры обладают рядом преимуществ по сравнению с измерителями давления, основанными на других принципах, но они не позволяют вести непосредственную графическую регистрацию изменений давления [1, 2]. Исследование и разработка конструкции жидкостного самопишущего микроманометра имеет важное значение для автоматизации и повышения точности измерения микродавлений. В настоящей статье описан предложенный авторами измеритель малых давлений, основанный на емкостном принципе и пригодный для графической регистрации измеряемой величины.

Анализ литературы показал, что определенный интерес для решения указанной задачи представляют конструкции некоторых емкостных уровнемеров [3, 4], так как измерение микродавлений можно свести к измерению смещения уровня жидкости в коленах дифференциального микроманометра.

Емкостные уровнемеры основаны на измерении емкости при заполнении межэлектродного пространства конденсатора жидкостью, уровень которой определяется. Температурные изменения диэлектрических свойств жидкости, непостоянство ее свойств в случае водных растворов солей (из-за испарения воды) и характер взаимодействия жидкости с поверхностью электродов конденсатора ограничивают точность измерения уровня жидкости. Это не позволяет применять датчики общеизвестной конструкции для измерения и графической регистрации малых изменений давлений.

В [5] описана конструкция преобразователя, лишенная некоторых указанных недостатков. Однако в этой конструкции уровень рабочей жидкости и поверхность внутреннего электрода недоступны визуальному контролю, а степень несмачиваемости рабочих поверхностей преобразователя недостаточна для измерения микродавлений с малой по-

грешностью. В описываемой ниже конструкции преобразователя-микроманометра устранены отмеченные выше недостатки.

**Устройство преобразователя.** В преобразователе использовано изменение емкости конденсатора вследствие изменения площади его электродов. Датчик представляет собой стеклянную U-образную трубку, в колена которой вставлены металлические стержни-электроды, покрытые фторопластовой изоляцией (рис. 1). Между стенкой трубки и стержнями образуются два кольцевых канала, заполненных до половины своей высоты рабочей жидкостью — 5% раствором поваренной соли, на поверхности которого находится тонкий слой (0,1—0,3 мм) керосина. В изогнутую часть трубки введен электрод из нержавеющей стали, соприкасающийся с раствором электролита. При этом образуются два цилиндрических конденсатора переменной емкости  $C_1$  и  $C_2$ , соединенных последовательно через раствор электролита. Неподвижным внутренним электродом одного из этих конденсаторов является металлический стержень 2, изолятором — фторопластовое покрытие его 3, 4, а подвижным внешним электродом —

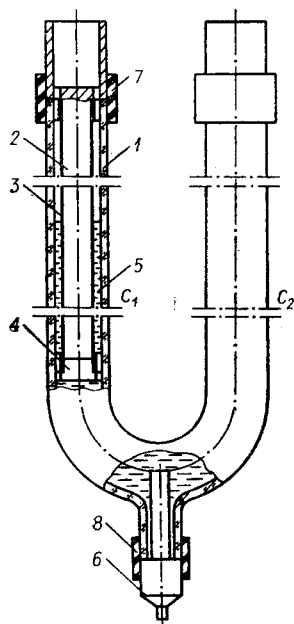


Рис. 1. Конструкция преобразователя:  
1 — U-образная стеклянная трубка; 2 — металлический стержень;  
3 — фторопластовая трубка; 4 — фторопластовая пробка; 5 — раствор электролита; 6 — контакт; 7—8 — резиновые манжеты.

раствор электролита 5. Для включения преобразователя в измерительную цепь предусматриваются контакт 6, электрически соединенный с наружными электродами (раствором электролита), а также выводы внутренних электродов — верхние части металлических стержней 2.

Условием хорошей работы емкостного преобразователя-микроманометра является несмачиваемость поверхностей, соприкасающихся с электролитом. Это обеспечивается фторопластовой изоляцией стержня, силиконовым покрытием внутренней поверхности стеклянной трубки и керосиновым кольцом на поверхности электролита.

**Принцип работы преобразователя.** Смещение уровня электролита в коленах преобразователя приводит к изменению площади погруженных в растворы электролита металлических стержней, т. е. к одинаковым по величине, но противоположным по знаку приращения емкостей конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$   $|\Delta C_1| = |-\Delta C_2|$ . По величине и знаку изменения емкости определяется разность давлений в коленах микроманометра. Поскольку емкость коаксиального цилиндрического конденсатора с постоянным поперечным сечением пропорциональна его длине, а работа с перемещением мениска жидкости вблизи конца центрального стержня исключается, то изменения емкости прямо пропорциональны перемещению уровня жидкости в коленах микроманометра.

В принципах действия данного микроманометра и емкостного уровнемера, в котором конденсатор образуют стенки бака и внутренний изолированный электрод [3, 4], имеется некоторая аналогия. В этих уровнемерах при наличии неэлектропроводной или электропроводной жидкости межэлектродное пространство (стенка бака — внутренний электрод) разделяется на две части: нижнюю, заполненную жидкостью,

и верхнюю, заполненную воздухом, что соответствует параллельно соединенным верхнему и нижнему конденсаторам. Уровень жидкости определяется по изменению суммарной емкости конденсаторов.

Описываемый здесь преобразователь-микроманометр отличается от датчика уровнемеров тем, что стенка бака, выполняющая роль внешнего электрода уровнемера, заменена стеклянной U-образной трубкой, а роль электродов полностью выполняет специально подобранная электропроводящая жидкость, соединяющая последовательно две половины преобразователя. В результате этого повышается стабильность диэлектрика в межэлектродном пространстве и становится доступным для визуального контроля мениск рабочей жидкости.

Электрическая схема включения преобразователя в измерительное устройство. Преобразователь-микроманометр включается в схему четырехплечего RC-моста, питаемого от генератора ультразвуковой частоты (рис. 2). Питание моста производится через разделительный трансформатор Тр с электрической экранировкой вторичной обмотки. Переменные сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и емкость  $C_3$  служат для начального уравновешивания моста при разности давлений, равной нулю. Частотная характеристика электронного усилителя ЭУ имеет завал на низких частотах с целью исключения наводок частотой 50 гц. Если пренебречь влиянием сопротивления индикатора ( $Z_{и} \rightarrow \infty$ ) то напряжение  $U_{и}$  диагонали моста (без учета паразитных емкостей) определяется [6] выражением

$$U_{и} = U_{г} \frac{C_2 R_1 - C_1 (R_2 + R_3)}{(C_1 + C_2) (R_1 + R_2 + R_3)}. \quad (1)$$

Если иметь в виду, что при изменениях уровня электролита в коленах преобразователя  $C_1 + C_2 = 2C = \text{const}$ , и учесть условие равновесия  $R_1 = R_2 + R_3$ , то из (1) получим

$$U_{и} = U_{г} \frac{\Delta C}{2C}. \quad (2)$$

Как следует из выражения (2), выходное напряжение мостовой схемы линейно зависит от изменения емкости колена преобразователя и, следовательно, от измеряемого давления. Существенным преимуществом данного преобразователя перед многими емкостными датчиками является то, что благодаря включению в схему двух конденсаторов приращения емкостей имеют противоположные знаки, практически исключается влияние многих паразитных факторов, одинаково сказывающихся на обеих половинах датчика (в частности, влияние нестабильности параметров изоляции центральных электродов, влияние нестабильности параметров жидкости, влияние конечного активного сопротивления электролита и т. д.).

Экранирование провода, соединяющего точку  $a$  моста со входом индикатора (см. рис. 2), приводит к уменьшению напряжения на входе индикатора, а также может повлечь несоблюдение условия  $Z_{и} \rightarrow \infty$ .

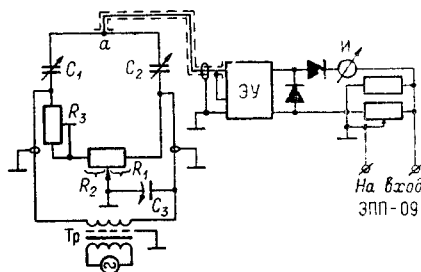


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема включения преобразователя:  $R_1 + R_2 = 250$  ком;  $R_3 = 10$  ком;  $C_3 = 6 \div 25$  нф;  $C_1$  и  $C_2$  — емкости преобразователя (в положении равновесия моста  $C_1 = C_2 = 42$  нф).

Для уменьшения влияния паразитной емкости экранированного провода применяется кабель с двойным экраном. Внутренний экран соединяется с катодом лампы катодного повторителя, стоящего на входе электронного усилителя. При этом входная емкость индикатора уменьшается в  $(1 - K_n)$  раз [7], где  $K_n$  — коэффициент передачи катодного повторителя по напряжению.

Неидентичность паразитных емкостей проводов, соединяющих диагональ питания моста с трансформатором Тр, устраняется путем подбора емкости конденсатора  $C_3$  при начальном уравнивании. Эти паразитные емкости шунтируют плечи  $R_1$  и  $R_2 + R_3$  и на чувствительность схемы влияния не оказывают.

*Погрешности измерения давления.* Результат измерения давления  $P_n$ , полученный в виде записи на диаграммной бумаге потенциометра ЭПП-09, можно представить как

$$P_n = K_p K_y \frac{U_r}{2} \frac{\Delta C}{C},$$

где  $K_p$  — коэффициент передачи от входа ЭПП-09 до пишущей каретки;

$K_y$  — коэффициент усиления усилителя ЭУ;

$U_r$  — напряжение питания моста;

$\Delta C$  — изменение емкости преобразователя.

Погрешность  $\delta_p$  коэффициента передачи потенциометра ЭПП-09 при записи равна 1% (согласно паспортным данным). Коэффициент усиления усилителя ЭУ в процессе подготовки к измерениям устанавливается при подаче на преобразователь калибровочного давления  $P_k$  контроль которого производится визуально (с помощью 4-кратной лупы). Абсолютная погрешность измерения  $P_k$  составляет при этом 0,1 мм вод. ст. Погрешность установления коэффициента усиления усилителя пропорциональна погрешности установления  $P_k$ . При  $P_k = 10$  мм вод. ст. относительная погрешность калибровки усилителя равна  $\delta_{ук} = 1\%$ .

Нестабильность коэффициента усиления  $\delta_y$  составляет 1,5% (получено экспериментально). Нестабильностью коэффициента передачи и нелинейностью характеристики детектора на диодах Д2Ж можно пренебречь при выходном напряжении, равном 20 в. Нестабильность напряжения питания моста  $\delta_r$  при стабилизации напряжения генератора простейшим способом (например, с помощью неоновой лампы) составляет около 0,5%.

Не учитывая систематической погрешности, обусловленной неточностью изготовления деталей преобразователя, погрешность измерения давления можно представить выражением

$$\delta_n = \sqrt{\delta_p^2 + (\delta_{ук} + \delta_y)^2 + \delta_r^2},$$

т. е. погрешность равна 2,74%. Практически при измерении давлений, задаваемых в пределах  $10 \pm 0,1$  мм вод. ст., средняя ошибка измерения оказалась равной  $\pm 1,8\%$ .

*Выбор параметров преобразователя.* В случае измерения давления, возникающего при выделении небольшого количества газа, измерительное пространство преобразователя-микроманометра желательно сделать минимальным. Вместе с тем, ширина кольцевого канала (пространство между стеклянной трубкой и изолированным стержнем) не может быть выбрана слишком небольшой, так как это приведет к рез-

кому повышению инерционности рабочей жидкости за счет трения ее в узком щелевом пространстве. Поэтому расстояние между стенками кольцевого канала не следует делать меньше 1,0 мм. Точность показаний микроанометров возрастает при увеличении отношения длины колена к его диаметру. Отношение длины стержня к диаметру не должно быть менее 20 при заполнении электролитом колен микроанометра до половины стержней 4.

Размеры деталей одного из преобразователей, изготовленного и ставляет около 3%. Систематическая погрешность измерений будет тем меньше, чем выше точность изготовления двух деталей преобразователя: центрального стержня и фторопластовой изоляции с тугой посадкой ее на стержень.

Частота генератора выбирается такой, чтобы получить небольшие значения импеданса. В нашем случае она равна 30 кгц. Дальнейшее увеличение частоты нежелательно из-за увеличения влияния паразитных емкостей. Реактивность сопротивления преобразователя (одного плеча) описанного образца равна 126 ком на частоте 30 кгц.

Для уверенной регистрации смещения мениска рабочей жидкости, равного 0.015 мм и соответствующего цене деления самописца ЭПП-09 в нашем образце преобразователя-микроанометра, необходимо иметь напряжение на выходе генератора 40 в и коэффициент усиления усилителя около 80.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Белик. Микроанометры. Киев, Гостехиздат, 1953.
2. А. И. Петров, В. Т. Дробах. Техника измерения давлений и расходов жидкости и газа. Л., Гостоптехиздат, 1963.
3. А. И. Черняков. Электронный индикатор уровня жидких и сыпучих сред ЭИУ-1.— Приборостроение, 1961, № 8.
4. К. Б. Карандеев, Ф. Б. Гриневиц, А. И. Новик. О построении емкостных уровнемеров.— Измерительная техника, 1961, № 10.
5. Е. Т. Кулин, С. С. Шушкевич. Самопишущий электрический микроанометр для биологических исследований.— Весці АН БССР, серыя біял. навук, 1959, № 4.
6. Электрические измерения. Под ред. А. В. Фремке. М.—Л., Госэнергоиздат, 1954.
7. К. Э. Эрглис, И. П. Степаненко. Электронные усилители. М., Физматгиз, 1961.

*Поступила в редакцию  
28 мая 1965 г.,  
окончательный вариант —  
3 февраля 1966 г.*