

УДК 621.38

В.В. Чмут, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ДИФФУЗИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СИГНАЛ

Рассматривается устройство и получены аналитические соотношения, описывающие статический режим работы диффузионного преобразователя давления с деформирующимся электродом.

В системах автоматизации производственных процессов, особенно в аппаратуре сопряжения с объектом широко используются преобразователи давления в электрический сигнал. Поэтому значительный интерес представляют их новые разработки, в частности диффузионные преобразователи (ДП).

Дальнейшее развитие ДП неэлектрических величин [1] в направлении расширения их функциональных возможностей и улучшения эксплуатационных и конструктивных параметров связано с разработкой и исследованием диффузионных преобразователей с деформирующимися электродами (ДПДЭ).

При воздействии внешних возмущений (давление, перемещение, ускорение и др.) изменяется форма измерительных электродов, что вызывает явления в межэлектродном пространстве, влияющие на величину выходного сигнала [2].

Рассмотрим ДПДЭ, в котором при воздействии определенного давления происходит деформация мембраны-анода и изменяется её положение относительно неподвижного катода, что приводит к изменению выходного тока.

Целью статьи является получение аналитического выражения статической характеристики ДПДЭ, устанавливающего зависимость приращения выходного тока от внешнего давления, воздействующего на мембрану. На рисунке 1 схематически показано устройство такого ДПДЭ и схема его включения.

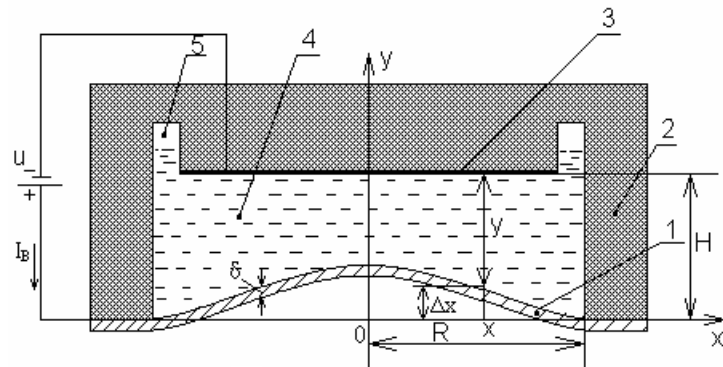


Рисунок 1 – Диффузионный преобразователь давления

Преобразователь содержит мембрану 1, работающую в пределах упругих деформаций и герметично закрывающую корпус 2, в котором размещены плоский в виде круга катод 3 и электролит 4. При этом мембрана-анод и катод образуют плоскощелевой капилляр, сообщающийся с газовым отсеком 5, заполненным инертным газом. В совокупности источник питания, электроды и электролит образуют обратимую окислительно-восстановительную систему [1], а газовый отсек, заполненный инертным газом, используется для размещения в нем электролита, вытесняемого из межэлектродного пространства.

В исходном состоянии межэлектродное расстояние H не превышает толщины диффузионного слоя, поэтому выходной ток I_{B0} является предельным диффузионным током [1] и определяется соотношением

$$I_{B0} = \frac{\varepsilon \pi R^2}{H}. \quad (1)$$

Здесь $\varepsilon = 2n/(n_1 F D C_0)$, где n , n_1 – соответственно числа электронов и ионов окислителя, участвующих в элементарном акте обмена окислительно-восстановительной реакции; F – число Фарадея; C_0 – исходная средняя по объему концентрация окислителя; D – коэффициент диффузии окислителя; R – радиус мембраны (в рассматриваемой конструкции практически равный радиусу катода).

Известно [3], что при деформации плоской, жестко заземленной по контуру мембраны, зависимость величины прогиба Δ_x при заданном давлении P является нелинейной функцией абсциссы x и представляется соотношением

$$\Delta_x = \frac{3P(1-\mu^2)(R^2-x^2)^2}{16E\delta^3}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент Пуассона, E – модуль Юнга, δ – толщина мембраны.

Следовательно, с учетом соотношения (2) расстояние $H - \Delta_x$ между противоположными точками мембраны и катода запишем в виде

$$H - \Delta_x = H - a_0(R^2 - x^2)^2,$$

$$\text{где } a_0 = \frac{3P(1-\mu^2)}{16E\delta^3}.$$

Как следует из соотношения (1), выходной ток преобразователя также нелинейно связан с величиной рабочего зазора между электродами. Таким образом, при определенных геометрических соотношениях возможна линеаризация статической характеристики ДПДЭ.

Найдем выражение статической характеристики рассматриваемого преобразователя. Для узкой кольцеобразной зоны на поверхности мембраны шириной dx и длиной $2\pi x$ соответствующее приращение тока равно

$$dI_B = \frac{2\varepsilon \pi x dx}{H - \Delta_x}. \quad (3)$$

В случае малых прогибов при условии $\frac{\Delta_x}{H} \ll 1$ выполняется приближенное равенство

$$\frac{1}{H - \Delta_x} = \frac{1}{H} \left(1 + \frac{\Delta_x}{H}\right). \quad (4)$$

Следовательно, с учетом выражений (3) и (4) выходной ток в цепи запишется как

$$I_B = \int_0^R dI_B = \frac{2\pi\varepsilon}{H} \int_0^R \left(1 + \frac{\Delta_x}{H}\right) x dx. \quad (5)$$

С учетом (2) после интегрирования соотношение (5) преобразуется к виду:

$$I_B = \frac{\varepsilon \pi R^2}{H} + \frac{\varepsilon \pi (1-\mu^2) R^6 P}{16 H^2 E \delta^3}. \quad (6)$$

Учитывая, что первое слагаемое в правой части (6) представляет ток покоя I_{B0} , получим, что приращение выходного тока

$$\Delta I_B = I_B - I_{B0} = \frac{\varepsilon \pi (1-\mu^2) R^6 P}{16 H^2 E \delta^3}, \quad (7)$$

а относительное изменение выходного тока составляет

$$\frac{\Delta I_B}{I_{B0}} = \frac{(1-\mu^2) R^4 P}{16 H E \delta^3}.$$

Из выражения (7) следует, что при условии $\frac{\Delta_x}{H} \ll 1$ зависимость ΔI_B от давления P является

линейной функцией Δ_x .

При произвольном прогибе Δ_x выражение для выходного тока с учетом (3) запишем в виде:

$$I_B = \int_0^R \frac{2\pi\varepsilon x}{H - \Delta_x} dx. \quad (8)$$

Преобразуем соотношение (2) к виду

$$\Delta_x = a_1 \left[1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2\right]^2, \quad (9)$$

где величина

$$a_1 = \frac{3(1-\mu^2) R^4}{16 E \delta^3} P$$

определяет максимальный прогиб мембраны, т.е. прогиб центра мембраны, при заданном давлении P .

После выполнения интегрирования с учетом выражения (9) соотношение (8) примет вид

$$I_B = \frac{\varepsilon \pi R^2}{2H\sqrt{\lambda}} \ln \frac{1+\sqrt{\lambda}}{1-\sqrt{\lambda}}, \tag{10}$$

где $\lambda = a_1/H$.

Обозначим

$$\lambda_1 = \frac{3(1-\mu^2)R^4}{HE\delta^3},$$

тогда выражение (10) запишем в виде

$$I_B = \frac{\varepsilon \pi R^2}{2H\sqrt{\lambda_1 P}} \ln \frac{1+\sqrt{\lambda_1 P}}{1-\sqrt{\lambda_1 P}}, \tag{11}$$

а соответствующее приращение тока составляет

$$\Delta I_B = \frac{\varepsilon \pi R^2}{H} \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda_1 P}} \ln \frac{1+\sqrt{\lambda_1 P}}{1-\sqrt{\lambda_1 P}} - 1 \right).$$

Выражение (11), определяющее статическую характеристику преобразователя, является нелинейным и определяет влияние конструктивных параметров преобразователя на приращение выходного тока ΔI_B .

Найдем некоторое эквивалентное расстояние $H_{\mathcal{E}}$ между плоскопараллельными электродами тех же геометрических размеров, что и в анализируемом ДП, при котором выходной ток равен току I_B , полученному из соотношения (11). Из очевидного равенства

$$\frac{\varepsilon \pi R^2}{2H\sqrt{\lambda_1 P}} \ln \frac{1+\sqrt{\lambda_1 P}}{1-\sqrt{\lambda_1 P}} = \frac{\varepsilon \pi R^2}{H_{\mathcal{E}}}$$

находим

$$H_{\mathcal{E}} = \frac{2H\sqrt{\lambda_1 P}}{\ln[(1+\sqrt{\lambda_1 P})/(1-\sqrt{\lambda_1 P})]}. \tag{12}$$

Таким образом, используя соотношение (12) при заданном давлении P , можно находить выходной ток I_B как ток в преобразователе с плоскопараллельными электродами, расстояние между которыми равно $H_{\mathcal{E}}$. Указанный метод назовем методом эквивалентного расстояния. Он позволяет анализ ДПДЭ свести к анализу ДП со встречно параллельным перемещением электродов, методика анализа которых общеизвестна [1].

В результате выполненного анализа получены статические характеристики преобразователя в виде выражений (6) и (11).

В анализируемом ДПДЭ практически весь электролит, находящийся внутри корпуса, сосредоточен в межэлектродном пространстве и участвует в образовании выходного тока, что препятствует возникновению паразитных конвективных потоков и повышает стабильность коэффициента передачи.

Так как мембрана одновременно выполняет функцию анода, то обеспечивается упрощение конструкции и возможность ее миниатюризации.

Рассматриваемый ДПДЭ выгодно отличается от известных решений [1] и рекомендуется для использования в системах управления и контроля при автоматизации производственных процессов.

Дальнейшие исследования ДПДЭ связаны с изучением их динамических свойств, в частности, с получением переходных характеристик и передаточных функций.

Библиографический список

1. Фиш М.Л. Диффузионные преобразователи неэлектрических величин / М.Л. Фиш, Ю.В. Лаптев. — К.: Техніка, 1979. — 120 с.
2. Чмут В.В. Диффузионные преобразователи с деформирующимися электродами / В.В. Чмут // Тез. докл. X Всесоюзн. науч.-техн. конф. по молекулярной электронике (часть II), г. Краснодар, 13-15 мая 1986 г. — М., 1986. — С. 53–54.
3. Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов / Л.Е. Андреева. — М.: Машиностроение, 1981. — 391 с.

Поступила в редакцию 25.04.2007 г.