

УДК 550. 34

А.В.Троценко, доц., канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

root@sevgtu.sebastopol.ua

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ СОЗДАНИЯ ГРАВИМЕТРА НА БАЗЕ ДИФ- FUЗИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УСКОРЕНИЙ

Проанализированы схемы создания устройств для измерения напряженности гравитационного поля Земли на основе жидкостных диффузионных преобразователей линейных ускорений.

Анализ возможных схем реализации устройств для измерения изменения гравитационного поля (гравиметра) на базе диффузионных преобразователей линейных ускорений показал потенциальную возможность следующих вариантов исполнения:

- 1) преобразование входного сигнала, превышающего верхний предел измерений диффузионного преобразователя;
- 2) диффузионный гравиметр коаксиальной конструкции, работающий на разности плотностей электролита в электродных отсеках.

Проведем анализ этих вариантов.

В определенных пределах входных сигналов диффузионные преобразователи имеют линейную функцию преобразования. На нижнем пределе измерений линейность ограничена наличием собственного диффузионного шума. На верхнем пределе измерений линейность функции означает, что весь вносимый в катодный отсек реагент должен полностью восстанавливаться на считывающем катоде.

Возникающая при воздействии сигнала, превышающего верхний предел измерений, нелинейность обусловлена действием двух факторов: ограничением выходного сигнала значением предельного диффузионного тока в каждом плече системы электродов и проскоком реагирующей компоненты измерительного электрода.

Для оценки уровня нелинейности используют два параметра: коэффициент проскока $K_{пр}$ измерительного электрода и коэффициент нелинейности преобразования $K_{п}$. При этом $K_{п} = 1 - 2 K_{пр}$ [1, 2].

Составляющая погрешности диффузионного преобразователя от нелинейности за счет ограничения выходного сигнала значением предельного диффузионного тока $I_{дм}$ определяется выражением [3]

$$\delta I_{д} = [f(x) - I_{дм}] / 2 f(x),$$

где $f(x)$ - функция преобразования.

Составляющая погрешности от нелинейности, обусловленная проскоком реагирующей компоненты измерительного электрода, представляет со-

бой удвоенное отношение не прореагировавшего на первом по потоку жидкости катоде реагента ко всему, прошедшему через поперечное сечение преобразователя

$$\delta_{\text{пр}} = 2 [f(x) - I_{\text{пр}}] / f(x),$$

где $I_{\text{пр}}$ - сила тока измерительного электрода, обусловленная прореагировавшим компонентом.

Как правило, для разных конструктивных вариантов преобразователей определяющей является одна из двух составляющих погрешности от нелинейности.

Какая из составляющих преобладает в конкретной конструкции, устанавливаются экспериментальным путем, задавая сигналы, превышающие верхний предел измерений преобразователя.

Для оценки возможности расширения верхнего предела измерений диффузионного преобразователя с элементом типа ЭПС были проведены испытания сейсмопреобразователя ПДВС - 12 с верхним пределом измерений 10^{-3} м/с² в следующей последовательности.

1. Преобразователь установлен на рабочую платформу испытательной установки под углом 4° к вертикали. Выход преобразователя подключен к технологической сборке, в которой в каждом плече диффузионной ячейки установлен резистор $R = 100$ Ом. Определена АЧХ преобразователя в диапазоне частот (0,01...2) Гц и амплитуд $(0,8...2) \cdot 10^{-4}$ м/с².

2. Преобразователь установлен горизонтально, измерительная ось совмещена с плоскостью колебаний. Задан входной сигнал на частоте 0,04 Гц (максимум АЧХ) с амплитудой 10^{-3} м/с² (верхний предел измерений). Определен коэффициент преобразования.

3. Заданы входные сигналы на частоте 0,04 Гц с амплитудами $2 \cdot 10^{-3}$; $2,5 \cdot 10^{-3}$ и $4 \cdot 10^{-3}$ м/с². Зарегистрированы выходные сигналы.

Результаты испытаний состоят в следующем.

1. АЧХ преобразователя ПДВС - 12 имеет куполообразный вид и соответствует типовой АЧХ диффузионного преобразователя.

2. Нелинейность коэффициента преобразования на верхнем пределе измерений ($A_v = 10^{-3}$ м/с²) не превышает 5%.

3. Коэффициент преобразования при амплитуде входного сигнала $A_a = 2 \cdot 10^{-3}$ м/с² равен $K_2 = 1,05$ А·с²/м, что составляет $K_2 = 0,72 K_1$, где K_1 - коэффициент преобразования при амплитуде 10^{-3} м/с², т.е. нелинейность составляет 28 %. Форма сигнала несинусоидальна.

4. При амплитуде входного сигнала порядка $2,5 \cdot 10^{-3}$ м/с² в выходном сигнале появляется искажение формы, обусловленное появлением второй гармоники. Это свидетельствует о проскоке реагирующего компонента первого по потоку катода и восстановлению его на втором катоде.

5. При амплитуде входного сигнала $A_a = 4 \cdot 10^{-3}$ м/с² выходной сигнал искажен второй гармоникой, амплитуда выходного сигнала уменьшилась. Дальнейшее увеличение входного сигнала не приводит к заметным изменениям выходного, что свидетельствует о проскоке реагирующего компонента и второго по потоку жидкости катода.

Выводы

1. До уровня входного сигнала, превышающего верхний предел измерений в 2,5 раза, нелинейность функции преобразования обусловлена превышением выходного сигнала значения предельного диффузионного тока в двух плечах преобразовательного элемента. Дальнейшее увеличение входного сигнала приводит к проскоку первого по потоку катода и восстановлению непрореагировавшей компоненты на втором катоде.

При уровне сигнала в 4 раза превышающем верхний предел измерений реагент не успевает восстановиться и на втором по потоку жидкости катоде и выносится за систему электродов.

2. Для данной конструкции преобразователя возможно увеличить верхний предел измерений ориентировочно в 2 раза (при нелинейности до 30%), дальнейшее увеличение сигнала приводит к искажению формы и отсутствию пропорциональной зависимости между выходным и входным сигналами.

На базе специфической особенности диффузионных преобразователей (наличии прикатодной области, очищенной от ионов йода) может быть построен измеритель напряженности гравитационного поля специальной конструкции без дополнительных механических и магнитных устройств. Принцип действия такого гравиметра основан на том, что при работе диффузионного преобразователя (прохождение тока между анодом и катодом) в катодном канале возникает область, обедненная окисленной формой реагента и имеющая плотность меньше плотности исходного электролита [1]. Образование менее плотного электролита в канале приводит к возникновению циркуляции электролита в поле силы тяжести вследствие естественной конвекции.

Прибор представляет собой два коаксиальных отсека 1, 2 (см. рисунок 1), соединенных по рабочей жидкости 3 каналами 4 со считывающими катодами 5. Еще один катод 6 очистки и анод 7 размещены в разных отсеках 1 и 2. После включения источника питания реакции на электродах через некоторое время приводят к перекачке йода в анодный отсек 2 и очистке от него катодного отсека 1. В отсеках устанавливаются неодинаковые плотности электролита, в анодном ρ_a больше, чем в катодном ρ_k . При расположении прибора вертикально (или под углом к вертикали) возникает течение электролита под воздействием силы тяжести из отсека 1 в отсек 2. Электролит перетекает через каналы 4 с катодами 5, работающими в режиме пре-

дельного тока диффузии. Эти катоды обеспечивают практически полное реагирование вносимого в канал йода. В результате плотности ρ_α и ρ_κ сохраняются неизменными, а выходное напряжение изменяется пропорционально расходу электролита в каналах.

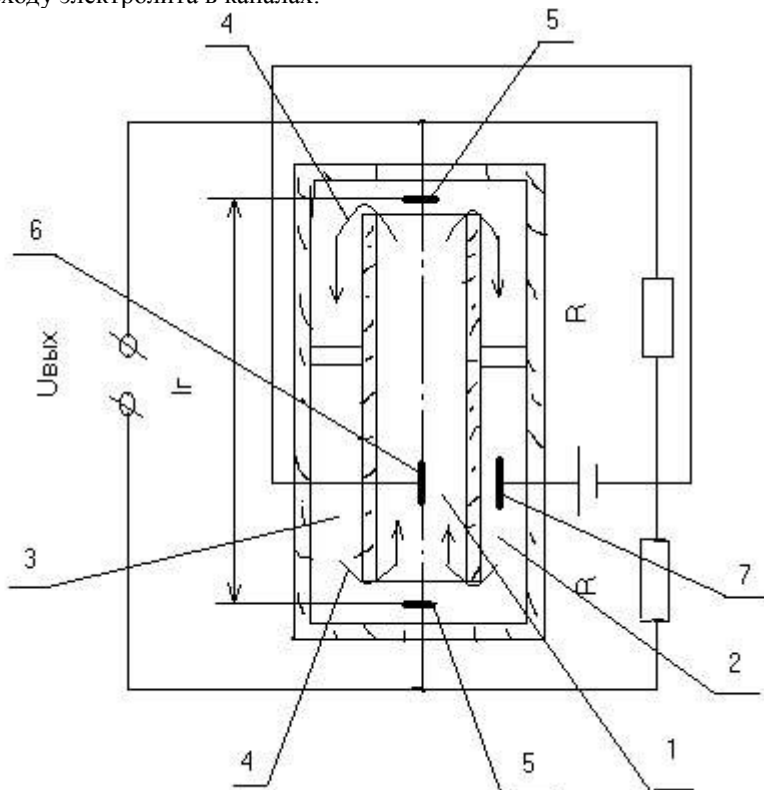


Рисунок 1 – Схема диффузионного гравиметра

Изменение g преобразуется в изменения перепада давления ΔP на катодной области знакочувствительного преобразователя

$$\Delta P = I_r (\rho_\alpha - \rho_\kappa) g.$$

Расход электролита через каналы 4 определяется гидродинамическим сопротивлением каналов R_r

$$Q = \Delta P / R_r.$$

Разностный ток в цепи катодов и падение напряжения $U_{\text{вых}}$ на резисторах R пропорциональны расходу Q , а следовательно, и местному значению g . В качестве преобразующих элементов в каналах 4 могут быть установлены элементы типа ЭПС.

Для работы гравиметра необходимо предварительно очищать катодный отсек от йода. После включения питания ток в цепи анод 7 - катод 6 очистки ограничен электрическим сопротивлением электролита между этими электродами. Когда концентрация йода в катодном отсеке значительно снизится, ток очистки станет предельным током диффузии, убывающим во времени по экспоненте. Существующий в растворе миграционный ток обуславливает накапливание в катодном отсеке КJ во время очистки отсека от йода. Фиксированная разность плотностей электролита в анодном и катодном отсеках 1 и 2 устанавливается после того, как диффузионным путем снова установится одинаковая концентрация КJ во всем объеме гравиметра.

Рассмотренный преобразователь не имеет упругих элементов и, соответственно, ограничений на нижнюю граничную частоту входного сигнала. Таким образом, гравиметр постоянно измеряет составляющую g на измерительную ось.

Рассмотрим пример реализации гравиметра.

Исходные данные: верхний предел измерений $\alpha_v = 1g$; коэффициент преобразования $K_1 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ А} \cdot \text{с}^2/\text{м}$; сопротивление нагрузки $R = 5 \text{ кОм}$; гидродинамическое сопротивление каналов $(2 - 3) \cdot 10^9 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$. Электролит - водный раствор $\text{KJ}(2\text{NKJ})$ и J_2 . Выбираем максимальную концентрацию реагирующего компонента $C_{\max} = 100 \text{ моль}/\text{м}^3$ ($0,1\text{N}\text{J}_2$), выбираем внутренний диаметр анодного отсека 8 мм, наружный диаметр катодного отсека 20 мм, толщина стенок отсеков 1,5 мм, исходная плотность электролита $\rho_{\text{исх}} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Максимальный выходной ток

$$I_{\max} = K_1 \alpha_v = 2 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Разность плотностей в отсеках можно определить по соотношению нормальностей компонентов электролита

$$\Delta\rho = [(2,1 - 2) / 2] 1,25 \cdot 10^3 = 62,5 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

По отношению объемов отсеков $V_\alpha / (V_\alpha + V_\kappa) = S_\alpha / (S_\alpha + S_\kappa)$ находим исходную концентрацию йода

$$C_0 = C_{\max} S_\alpha / (S_\alpha + S_\kappa) = 100(17^2 - 11^2) / (17^2 - 11^2 + 8^2) = 70 \text{ моль}/\text{м}^3.$$

Следовательно, используем водный раствор 2N K I и $0,07 \text{ I}_2$.

Диапазон измерений такого гравиметра соответствует диапазону преобразования диффузионной ячейки и составляет $\Delta = 2 \cdot 10^5$. Тогда нижнее значение выходного сигнала по току составляет $2 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^5 = 10 \text{ нА}$; по напряжению - 50 мкВ. Это в 2...3 раза превышает уровень собственного шума, соответственно диффузионной ячейки и предусилителя.

Нижний предел измерений составляет $1g / 2 \cdot 10^5 = 5 \cdot 10^{-6}g$.

Преимуществом рассмотренного гравиметра является отсутствие упругих элементов и специальных устройств перемещения или вращения гравиметра, а, следовательно, дополнительных, связанных с этим, помех, а также отсутствие ограничений на нижнюю граничную частоту сигнала.

Основной недостаток - ограничение нижнего предела измерений уровнем $5 \cdot 10^{-6}$ g.

Задаваясь уровнем 10^{-8} g, получаем, что для реализации диапазона $\Delta = 10^8$ верхний предел измерений такого гравиметра необходимо увеличить приблизительно в 500 раз.

Библиографический список

1. Введение в молекулярную электронику / Под ред. Н.С.Лидоренко. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 320 с.

2. Абрамович И.А. Разработка сейсмодатчиков на новых технологических принципах (молекулярная электроника) / И.А.Абрамович, В.М.Агафонов, С.К.Дарган // Сейсмические приборы. — 1999. — Вып.31. — С. 56 – 71.

3. Троценко А.В. Разработка и исследование методов и средств функциональных исследовательских испытаний жидкостных глубоководных сейсмоакустических преобразователей: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.01.- Защищена 28.04.90; Утверждена 15.08.90; 021621 /ВНИИМ; Севастополь, 1990. — 23 с.: ил. — Библиогр.: С. 22 – 23.

Поступила в редакцию 14.05.2002 г.