

ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ ДВИЖЕНИЯ

Измерительные приборы, разрабатываемые и производимые компанией "Р-сенсорс", основаны на физических принципах преобразования механического сигнала в электрический в молекулярно-электронной (электрохимической) ячейке [10]. Отличительной особенностью молекулярно-электронных преобразователей является исключительно высокая чувствительность, связанная с использованием жидкости в качестве инерционной массы и высокой крутизной преобразования механического сигнала в электрический ток, а также широкий частотный и динамический диапазоны. Данные свойства, в частности, дают возможность создания сейсмодатчиков с частотой среза на низких частотах до тысячных долей герца, а также линейных и угловых акселерометров, работающих от 0 Гц до частот порядка килогерца и выше.

Отсутствие движущихся элементов точной механики и относительная простота конструкции придает приборам такого типа высокую надежность, а также устойчивость к нежелательным внешним воздействиям, неизбежным при транспортировке и эксплуатации приборов в полевых условиях.

Принципы действия молекулярно-электронных датчиков движения основаны на механизме конвективно-диффузионного переноса заряда между электродами преобразователя в условиях вынужденной конвекции, возникающей при наличии внешнего механического воздействия. Важнейшим отличием молекулярно-электронных датчиков от инерционных измерителей параметров движения других типов является то, что в нем роль инерционной массы играет рабочая жидкость — раствор электролита, протекающий через преобразователь вследствие внешнего механического воздействия. Основным элементом таких приборов является молекулярно-электронный преобразователь, схематично показанный на Рис. 1. Внутри трубки 1, выполненной из диэлектрического и химически стойкого материала и заполненной раствором электролита 2, расположены две пары перфорированных электродов 3 и 4, дающие возможность свободного протекания жидкости через электродный узел в случае возникновения движения электролита в трубке преобразователя.

В рабочем режиме к каждой паре электродов преобразователя прикладывается постоянная разность потенциалов, обеспечивающая в отсутствие внешнего сигнала протекание фонового тока между анодом и катодом каждой электродной пары, обусловленного обратимыми окислительно-восстановительными реакциями на аноде и катоде. В случае возникновения движения рабочей жидкости в трубке преобразователя возникает конвективная составляющая тока между электродами преобразователя и соответствующий отклик в виде электрического сигнала, снимаемого с электродов. Коэффициент преобразования внешнего механического сигнала в электрический ток при этом имеет исключительно высокую величину, гарантируя высочайшую чувствительность датчика.

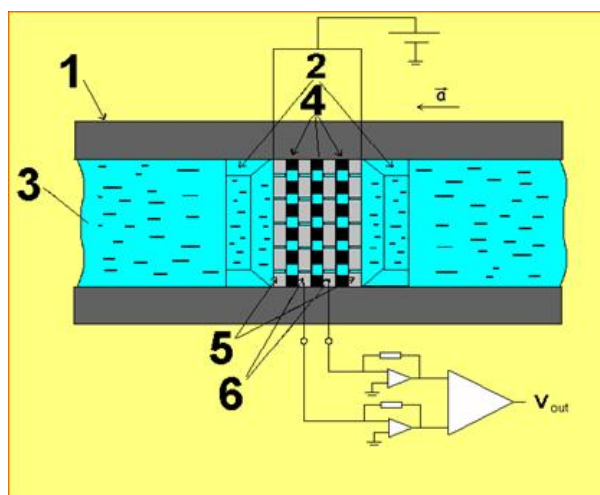


Рис. 1. Молекулярно-электронный преобразователь: 1 — диэлектрическая трубка (корпус преобразователя); 2, 4 — установочные элементы; 3 — электролит, 5, 6 — электроды.

Для того чтобы преобразователь мог использоваться в качестве линейного датчика движения, концы трубки 1 закрываются эластичными мембранами (Рис. 2). Тогда, при возникновении внешнего ускорения электролит в канале преобразователя приходит в движение, поднося или относя носители заряда к электродам, что отражается в изменении тока во внешней цепи. Если концы трубки 1 замкнуть в тор, целиком заполненный раствором электролита, получим датчик вращательного движения (Рис. 3).

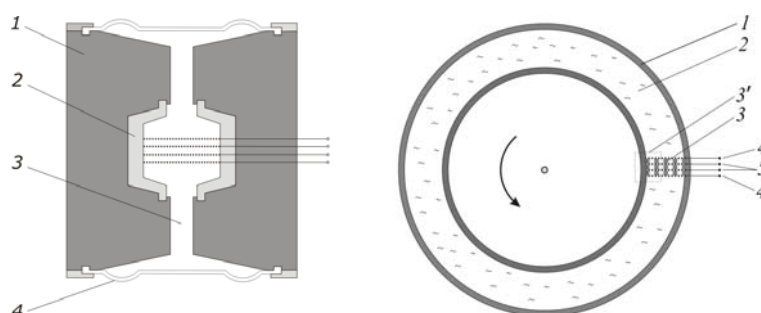


Рис. 2, 3.

На основе физических принципов молекулярной электроники была развита технология, позволившая создать целый ряд уникальных по совокупности своих технических характеристик датчиков линейного и вращательного движения (Рис.4, 5). В частности, были созданы не имеющие аналогов высокочувствительные молекулярно-электронные датчики вращательного движения, широко используемые, например, как чувствительные элементы сейсмометров вращательного движения (вращательные, или угловые, сейсмометры) [5], собственные шумы которых достигают уровня $5 \cdot 10^{-7}$ рад/с $2\Gamma\text{ц}^{1/2}$, динамический диапазон 110 дБ, рабочая полоса частот — 0.03 – 100 Гц.

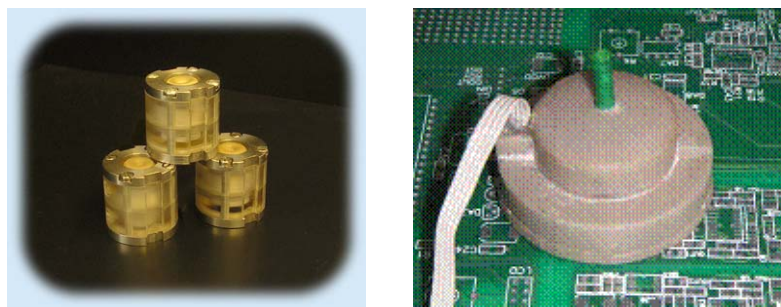


Рис. 4, 5.

Технические параметры датчиков движения, разработанных на принципах молекулярной электроники, открывают широкие перспективы их применения во многих практически важных областях, таких как 3D-сейсмика, контроль вибраций и технического состояния сложных инженерных сооружений (мосты, высотные здания и т.п.), мониторинг работы подземного бурового оборудования и локация бура наземными средствами, системы сейсмической охраны территории и объектов, инерциальная навигация и др.

В настоящее время основное развитие получило направление, связанное с созданием компактных и недорогих молекулярно-электронных сейсмометров, по своим техническим характеристикам конкурирующих с лучшими моделями более дорогостоящих электромеханических сейсмометров [1]. Так, трехкомпонентный широкополосный сейсмометр модели СМЕ-6211 с глубокой силовой обратной связью и уровнем собственных шумов -165 дБ (отсчитанных от 1 м/с²Гц^{1/2}) может рассматриваться в качестве достаточно универсального и относительно недорогого сейсмометра, предназначенного как для размещения на постоянно действующих сейсмостанциях, так и для организации полевых сейсмических исследований.

Актуальность данного направления связана с необходимостью развития мировой сейсмической сети, оснащенной современными сейсмометрами с широкими частотным и динамическим диапазонами работы, что на настоящем этапе сдерживается высокой стоимостью сейсмометров, построенных на принципах точной механики.

Шестикомпонентный сейсмоприемник СМЕ-106С включающий 3 линейные и 3 вращательные ортогональные оси чувствительности и способный регистрировать как линейные, так и вращательные компоненты сейсмического поля, дает новые возможности для сейсмических исследований. В частности, наличие высокочувствительных датчиков вращательного движения, являющихся приборами дифференцирующего типа, в волновой зоне источника позволяет более точно выделять волны поперечного типа. Поскольку вращательная составляющая волнового поля убывает быстрее линейной составляющей, регистрация с помощью такого шестикомпонентного сейсмоприемника отношения амплитуд линейных и угловых колебаний, нормированных на характерную длину волны, также может дать возможность оценить размеры источника, а при использовании сети шестикомпонентных сейсмометров — определить координаты эпицентра [5].

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: Системы охраны, идентификации и локации объектов, основанные на сейсмодатчиках нового типа.

В настоящее время потенциальные возможности систем, основанных на сейсмическом методе, реализованы далеко не полностью в силу ограниченных возможностей имеющейся компонентной базы. Традиционные датчики сейсмических сигналов характеризуются либо большими габаритами, потреблением и себестоимостью (широкополосные сейсмометры с емкостным и индукционным преобразователем), либо имеют узкую рабочую полосу частот и малый коэффициент преобразования (инженерные геофоны и пьезоакселерометры). В свою очередь, недостаточность технических характеристик первичных регистраторов не позволяет использовать в полной мере возможности мощных численных алгоритмов и современных цифровых средств обработки сигналов.

Разработанные в последние годы в Центре молекулярной электроники трехкомпонентные сейсмометры по полосе частот и возможности разрешать слабые сигналы существенно превосходят стандартные геофоны и пьезоэлектрические датчики и вполне конкурируют с дорогими и громоздкими механическими широкополосными сейсмометрами. Среди последних результатов в этой области стоит отметить создание компактных прототипов выносных сейсмических модулей, позволяющих, с использованием соответствующего программного обеспечения, определять, в частности, расстояние до источника сигнала и его азимутальное положение из одной точки без использования сейсмической антенны. Такая возможность имеет исключительное значение для разведывательных систем, «умных» мин и охранных комплексов быстрого развертывания.

Помимо датчиков линейных движений в Центре молекулярной электроники на той же технологической основе разработаны и изготовлены уникальные измерители вращательных колебаний, принципиально нечувствительные к трансляционным движениям. Данная разработка позволила практически реализовать высокоточный алгоритм определения расстояния до источника сигнала, основанный на отношении показаний линейного и вращательного датчиков. В результате, удалось довести точность определения координат источника сигнала до 1 м на 30-метровом расстоянии. Эффективность молекулярно-электронных сенсоров, как линейного, так и крутильного типа, для задач обнаружения и распознавания нарушителя, а также определения его координат была неоднократно подтверждена экспериментально в условиях полигона

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: Навигационные системы.

На основе достижений молекулярной электроники и современных микроэлектронных технологий разработаны микроакселерометры линейных и вращательных движений, имеющие размеры, типичные для современных механических микросистем, при рабочих характеристиках, на порядки лучших, чем у известных твердотельных микро акселерометров и гироскопов. Разработанные приборы могут найти применение, для решения задач навигации, в том числе персональной и подводной, стабилизации положения объектов, в том числе для систем виртуальной и смешанной реальности, в автомобильной, электронной промышленности, строительстве, станкостроении.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ: Сейсмология и сейсморазведка.

Широкополосные сейсмометры. Разработано несколько моделей предназначенных для различных областей применения. Сейсмометры модели 4211 идеально приспособлены для использования в полевых условиях и для подводных сейсмических станций. Модель 4311 имеет примерно на 10 дБ ниже уровень собственного шума и может использоваться как в полевых условиях, так и в стационарных обсерваториях. Сейсмометры модели 6211 имеют уровень шума близкий

к USGS Low-Noise Model. На базе разработанных сейсмометров созданы недорогие цифровые сейсмические станции высокого разрешения.

Короткопериодные сейсмометры. Серийно выпускаются короткопериодные сейсмометры моделей 3211 и 3311. Все они характеризуются низким уровнем шума, большим динамическим диапазоном >120 дБ и высоким коэффициентом преобразования, допускающим оцифровку слабых сигналов без предусиления. Собственные шумы приборов модели 3311 примерно на 10 дБ ниже, чем у модели 3211, и составляют -155 дБ, относительно $1 \text{ м/с}^2/\sqrt{\text{Гц}}$, что допускает их использования на станциях с низким уровнем сейсмического фона.

Сейсмические датчики для прикладных геофизических исследований. Для прикладных геофизических исследований, в том числе сейсморазведки, мониторинга состояния зданий и сооружений создано семейство недорогих компактных датчиков, работающих в широком частотном диапазоне от 1 до 500 Гц и значительно превышающих по чувствительности современные геофоны. Эксперименты, проведенные с использованием высокочувствительных датчиков вращательных движений, подтвердили перспективность их использования для локации подземного бурового оборудования с поверхности земли.