

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ

Н.С. Самохвалов, Х.Н. Музипов (Тюменский индустриальный университет)

Описывается пьезоэлектрический преобразователь акустической энергии ветрового потока в электрическую энергию с помощью четвертьволновых акустических резонаторов. Данный пьезоэлектрический генератор постоянного тока предназначен для электропитания маломощных электронных устройств.

Ключевые слова: пьезоэффект, четвертьволновой акустический резонатор, энергия ветра, вибрация, мощность, звук.

Введение

Тюменская область включает два административных подразделения: Ханты-Мансийский автономный округ (ХМАО) и Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО). Большая часть месторождений нефти находится вокруг среднего течения реки Оби в ХМАО, в то время как основные месторождения газа находятся дальше на север в ЯНАО, что предопределяет суровые условия окружающей среды. В перспективе новым центром по добыче нефти и газа станет полуостров Ямал. Выход на полуостров требует создания новых маршрутов транспортировки нефти и газа. В связи с тем, что регион представляет собой болотистую низменность, подстилаемую вечной мерзлотой в северной тайге и тундре, обеспечение надежности эксплуатации трубопроводов на месторождениях нефти и газа является одной из проблем автоматизации [1].

Трубопроводные системы представляют собой линейные сооружения и требуют постоянного контроля параметров его работы. Передовые телекоммуникации позволяют повысить качество мониторинга и дистанционного управления трубопроводом. Контроллеры трубопроводов используют передовые системы обнаружения и локализации утечек, контролируют давление и скорость потока перекачиваемого продукта.

Техническая реализация автоматизации технологических процессов перекачки по трубопроводам не представляет особых трудностей. Некоторые сложности представляет энергоснабжение датчиков, установленных на линейной части трубопроводов, пролегающих в болотистой местности. Выходом из сложившейся ситуации может являться использование маломощных беспроводных датчиков с независимыми источниками электроэнергии. К таким источникам относятся различные аккумуляторы и автономные источники постоянного электрического тока. Но эти источники необходимо периодически перезаряжать или менять, что является недостатком электропитания технических средств автоматизации в условиях отсутствия системы внешнего электропитания. Решить данную проблему можно с помощью солнечных батарей и ветрогенераторов.

Но эти преобразователи имеют определенные недостатки:

— традиционные преобразователи солнечной энергии — солнечные батареи, требуют постоянного контроля и обслуживания;

— преобразователи ветровой энергии — ветрогенераторы представляют собой устройства определенной сложности, требующие постоянного контроля и обслуживания.

Решение проблемы электропитания технических средств автоматизации возможно с помощью устройств, использующих пьезоэлектрические материалы.

Существующие пьезоэлектрические материалы позволяют преобразовывать акустическую энергию в электрическую для дальнейшего ее использования. Главной проблемой преобразования этого вида энергии является низкая плотность мощности в типичных полях акустического шума. Акустическая энергия используется только в ветрогенераторах. С акцентом на экологичность она является одним из широкодоступных энергоисточников. Поэтому преобразование этого вида энергии играет важную роль в исследованиях.

Для преобразования индуцированной акустической волны в электричество разрабатываются новые экологически чистые преобразователи энергии. Рассмотрим преобразователь акустической энергии, состоящий из двух компонентов: акустического резонатора и пьезоэлектрического элемента. Усиленная акустическая волна внутри четвертьволнового акустического резонатора вызывает колебания пьезоэлемента и генерирует электричество. Фактически электромеханическое преобразование ультразвукового давления посредством пьезоэлектричества при преобразовании акустической энергии аналогично преобразованию энергии вибрации.

Из-за относительно низкого уровня мощности (от нВт до мВт), генерируемого пьезоэлектрическими материалами от механических нагрузок, вибраций, движений человека, отработанного тепла, света или химических источников, широкого применения они пока не нашли. Тем не менее исследования, направленные на увеличение уровня мощности пьезоэлектрических материалов продолжают, и дают небольшой, но положительный эффект.

В 2006 г. сотрудники кафедры электротехники и вычислительной техники (Университет Флориды, Гейнсвилл, Флорида) опубликовали структуру устройства для преобразования акустической энергии с использованием четвертьволнового акустического резонатора с пьезоэлектрической композитной пленкой из цирконата-титаната свинца (PZT), прикрепленной к внутренней стенке резонатора [2]. В этом преобразователе акустической энергии была получе-

на максимальная выходная мощность 10,129 мВт при уровне звукового давления 112 дБ.

Позднее в 2008 г. авторы работы [3] представили резонатор Гельмгольца, использующий усиленную акустическую волну для деформации PZT-пьезоэлектрической пленки, покрывающей внутреннюю поверхность резонатора. В [4] использован резонатор Гельмгольца с однослойными и многослойными пьезоэлектрическими пленками для преобразования акустической энергии в электрическую. Выходная мощность многослойной пленки из поливинилиденфторида (PVDF)¹ составила 0,19 мкВт при ультразвуковом давлении 118 дБ на частоте 850 Гц.

Пьезоэлектрический преобразователь, основанный на четвертьволновом акустическом резонаторе и пьезоэлектрической пленке из PVDF

В пьезоэлектрическом преобразователе ветровой энергии в электрическую предлагается использовать четвертьволновой акустический резонатор, представляющий собой трубчатый резонатор с открытым и закрытым концами (рис. 1). При внешнем возбуждении резонатора звуком в нем возникает стоячая звуковая волна на резонансной частоте (ф.11.7. С. 302 [6]):

$$f_{рез} = \frac{c_0}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}}, \quad (1)$$

где c_0 — скорость звука, S — площадь поперечного сечения горловины резонатора, V — объем полости, l — эффективная длина горловины резонатора.

Звуковая стоячая волна на резонансной частоте воздействует на пьезоэлектрическую пленку из PVDF.

В четвертьволновом резонаторе треть его длины ($x=1/3 L$) около открытого входа действует как

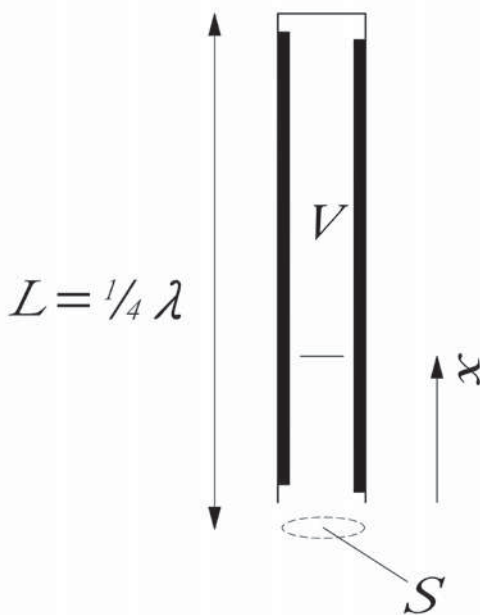


Рис. 1. Схема четвертьволнового резонатора

¹ В 1969 г. ученый Каваи (Япония) обнаружил сильный пьезоэлектрический эффект в PVDF пленках, а в 1975 г. компания Pioneer Ltd. выпустила первые громкоговорители и наушники, реализованные на основе PVDF [5].

горловина резонатора Гельмгольца, а две трети длины резонатора — в качестве полости (V) (рис. 1).

В четвертьволновом резонаторе продольная скорость частиц $v(x,t)$ и акустическое давление $p(x,t)$ на n -й резонансной моде изменяются в виде синусоидальных функций:

$$v(x,t) = v_0 \cos \frac{\pi(2n-1)x}{2L} \exp(i\omega_n t), \quad (2)$$

$$p(x,t) = p_0 \sin \frac{\pi(2n-1)x}{2L} \exp(i\omega_n t), \quad (3)$$

где L — длина резонатора, равная $(2n-1) \times \lambda/4$, x — эффективная длина горловины резонатора, ω_n — угловая собственная частота резонатора, n — номер моды, $n = 1, 2, 3 \dots$

На первой собственной моде ($n = 1$) длина резонатора равна четверти длины волны: $L = \lambda/4$.

Стоячие волны в таком резонаторе возможны лишь для тех случаев, когда на длине трубы укладывается нечетное число четвертей длин волн. Соответственно резонансные частоты будут равны:

$$f_{рез} = \frac{c_0}{4L} (2p - 1), \text{ где } p = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

Не вдаваясь в подробности анализа частотного спектра шума ветра, можно однозначно утверждать, что в его диапазоне будут частоты $100 \dots 15 \times 10^3$ Гц. Интенсивность звука зависит от скорости ветра.

Хотя резонансных частот несколько, сильнее всех выражена первая мода колебаний. Этому случаю соответствует четвертьволновой резонатор длиной:

$$L = \frac{c_0}{4f}. \quad (5)$$

Приняв в качестве $f_{рез} = 850$ Гц, можно определить геометрические размеры резонатора. Из уравнений (2) и (3) следует, что максимальная величина скорости частицы v_0 возникает на входе в резонатор, в то время как акустическое давление достигает максимальной величины p_0 на закрытом конце резонатора.

На рис. 2 представлена схема пьезоэлектрического преобразователя, использующего четвертьволновой акустический резонатор. Переменное акустическое давление, воздействующее на микропористую пленку PVDF с прямым пьезоэлектрическим эффектом, нанесенную на внутреннюю поверхность резонатора поз.3, создает электрическое переменное напряжение.

С выхода резонатора переменный ток посредством трансформатора поз.6 повышается до величины, необходимой потребителю. Далее переменный ток в выпрямителе поз.7 преобразуется в постоянный, который подается на накопитель энергии, например, электролитический конденсатор большой емкости поз.8. С накопителя энергии ток подается потребителю (нагрузка) поз.9 (рис. 2).

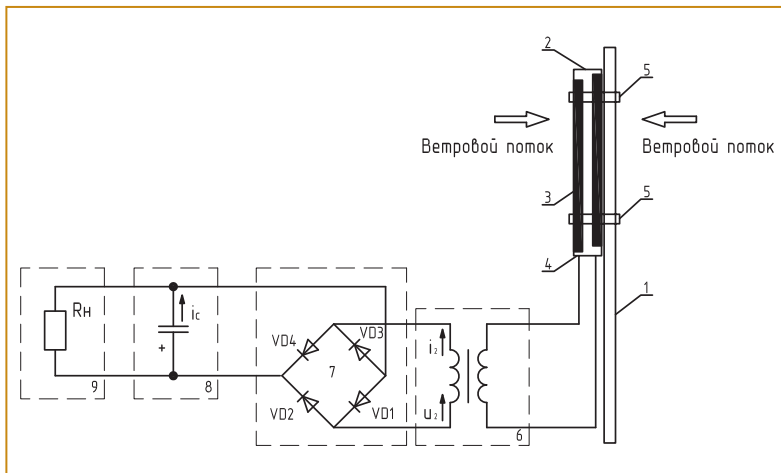


Рис. 2. Схема пьезоэлектрического преобразователя, где: 1 – основание (здесь в виде стойки); 2 – четвертьволновой акустический резонатор; 3 – пьезоэлектрическая пленка; 4 – горло резонатора; 5 – элемент, связывающий корпус резонатора 2 с основанием 1; 6 – трансформатор; 7 – выпрямитель; 8 – накопитель энергии; 9 – потребитель

Выходная мощность данного резонатора составляет 10,129 мВт, при ультразвуковом давлении 118 дБ и частоте 850 Гц [2].

Теоретически, при установке на основании (мачте) восьми резонаторов, можно получить $10,129 \text{ мВт} \times 8 = 81,032 \text{ мВт}$.

Число резонаторов, монтируемых на основании, ограничивается только конструкцией мачты и ее устойчивостью при ураганах. Для увеличения частотного диапазона звуковых волн можно размеры каждого резонатора рассчитать на конкретную резонансную частоту.

Заключение

В ближайшей перспективе рассмотренные пьезогенераторы не смогут генерировать значительное количество энергии для электроснабжения технических средств автоматизации, но благодаря простоте, надежности и точности устройств, использующих пьезоэлектрические материалы, они могут найти применение в широком спектре отраслей промышленности. Такие преобразователи могут применяться для электропитания маломощных электронных устройств, например, беспроводных датчиков давления и температуры на линейной части газо- нефтепроводов в районах Крайнего Севера [7].

Как известно, ЯНАО с точки зрения энергоснабжения — один из наиболее проблемных регионов России. Сложность обусловлена наличием на территории округа двух отдельных зон электроснабжения. Цен-

трализованная расположена в восточной и южной частях округа, ее потребители обеспечиваются электроэнергией от сетей Тюменьэнерго. В связи с этим электроснабжение систем автоматизации нижнего уровня, размещенных на линейной части трубопроводов, является актуальной задачей. Частично решить эту задачу можно с помощью преобразователей энергии ветра в электрическую.

Ветровая энергетика обладает рядом значимых преимуществ, таких как:

- общедоступность. Ветер — возобновляемое «сырье». Он будет существовать, пока есть солнце. Так по данным гидрометцентра России, в ЯНАО практически постоянно действуют ветра со скоростью 2...5,5 м/с;

- безопасность для природы и человека.

Оборудование, преобразующее энергию ветра, не создает выбросов в атмосферу, не является источником вредного излучения. Пути накопления, передачи и использования энергии ветра — экологичные. Производственная техника безопасна для человека, пока он использует ее по прямому назначению, соблюдая при этом все правила безопасности.

Список литературы

1. Брезницкий С.В., Медведев А.П., Гумеров А.Г. и др. Обеспечение надежности промышленных трубопроводов на месторождениях ТНК // Нефтяное хозяйство. 2002. № 12. С. 106.
2. Horowitz S.B., Sheplak M., Cattafesta L.N., Nishida T.A. MEMS acoustic energy harvester // Micromech. Microeng. 16. S174. 2006.
3. Phipps F. Liu A., Horowitz S., Ngo K., Cattafesta L., Nishida T., Sheplak M. Acoustic energy collection using the Helmholtz electromechanical resonator // The Journal of the Acoustical Society of America. 123. 1983 (2008).
4. Kim S. -H., Ji C. -H., Galle P., Herrault F., Wu X., Lee J. H., Choi C. -A. and Allen. M. G. An electromagnetic energy scavenger from direct airflow // Journal of Micromechanics and Microengineering, 19. 094010. 2009.
5. Тан Т. К. и Лю С. С. Принципы и материалы изготовления электрохимических сенсоров. In Chemical Sensor Technology Kodansha Ltd. 1991. Т. 3.
6. Юдин Е.А., Борисов Л.А., Горенштейн И.В. и др. Борьба с шумом на производстве. Справочник. Под ред. Е.А. Юдина. М.: Машиностроение. 1985. 400 с. ил.
7. Богданов С.П., Басов О.О. Перспективы и проблемы применения беспроводных датчиков с автономным питанием // Тр. ТУСУРа. 2012. №2 (26), Ч. 1. декабрь.

Самохвалов Никита Сергеевич — магистрант,
Музинов Халим Назипович — канд. техн. наук, доцент
 Тюменского индустриального университета.
 Контактный телефон 8 (982) 905-86-04.
 E-mail: muzipovhn@tyuiu.ru