Ляпунов Даниил Юрьевич
**РАЗВИТИЕ ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ**
Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2010/8/21.html
**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник
**Альманах современной науки и образования**
Тамбов: Грамота, 2010. № 8 (39). С. 65-67. ISSN 1993-5552.
Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html
Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2010/8/

**© Издательство "Грамота"**
Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net
Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 621.314.21-181.48+621.382-002.532

*Даниил Юрьевич Ляпунов*
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

# РАЗВИТИЕ ЕМКОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ©

Развитие технологий микросистемной техники потребовало повышения энергоемкости электромеханических преобразователей. При всем многообразии способов электромеханического преобразования энергии именно емкостной имеет наибольшую перспективу области микронных размеров и малых мощностей до 1 Вт.

В основе принципа работы емкостных электромеханических преобразователей (ЕЭМП) лежит взаимодействие зарядов на обкладках конденсатора.

Для моделирования и проектирования ЕЭМП широко используется схема преобразования энергии (Рис. 1).

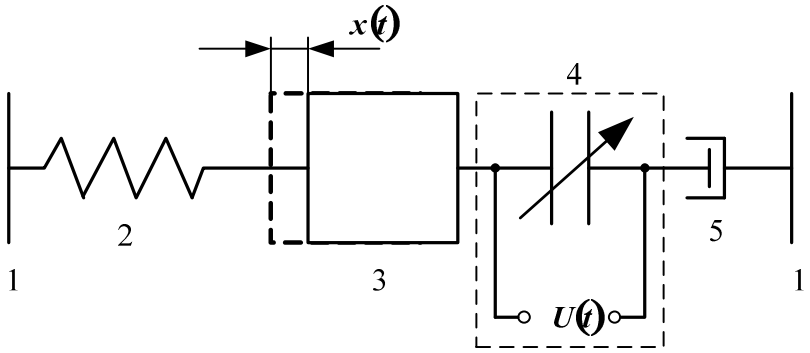


***Рис. 1.*** *Схема преобразования энергии в ЕЭМП:1 – неподвижная часть системы; 2 – упругий элемент; 3 – масса; 4 – конденсатор с подвижной обкладкой, 5 – демпфирующий элемент*

Согласно данной схеме, при подаче переменного или постоянного напряжения $U(t)$ между зажимами конденсатора, заряды на его обкладках взаимодействуют, осуществляя электромеханическое преобразование энергии. Кроме того, если под действием внешней силы обкладки конденсатора 4 приходят в движение, то емкость на его зажимах изменяется, что позволяет измерять ускорение, виброскорость и микроперемещения [8].

Таким образом, рассматриваемые преобразователи энергии возможно применять как в двигательном, так и в генераторном режимах.

Рассматриваемая схема (Рис. 1) используется также для моделирования датчиков ускорения. При определенном значении ускорения сила инерции массы заставляет обкладки конденсатора 4 перемещаться, в результате чего электрическая емкость системы изменяется [2].

Наиболее перспективными и широко применяемыми ЕЭМП являются акселерометры для систем безопасности транспортных средств и контроля технического состояния технологических объектов.

Основное уравнение движения системы имеет следующий вид:

$$m\ddot{x}(t) + \dot{x}(t) + kx(t) = F(t),$$

где $m$ – масса, $\beta$ – коэффициент демпфирования, $k$ – жесткость упругого элемента, $x(t)$ – смещение инерционной массы относительно положения равновесия, $F(t)$ – сила, приводящая систему в движение.

Согласно [8], чувствительные элементы акселерометров способны эффективно воспринимать и измерять нанoперемещения при ускорениях до 50 $g$.

Важной идеей, рассмотренной в данной работе, является объединение сенсорных и актюаторных свойств ЕЭМП в одном устройстве, что позволит создавать электромеханические среды, способные не только чувствовать внешние механические воздействия, но и отвечать на них, совершая электромеханическое преобразование энергии.

Таким образом, достижения микросистемной техники и нанотехнологии стимулируют развитие всех составляющих информационно-управляющих систем, которые по Норберту Винеру [4] состоят из объекта управления, сенсорной подсистемы, подсистемы анализа и принятия решений, актюаторной (воздействующей, исполнительной) подсистемы (Рис. 2).

© Ляпунов Д. Ю., 2010

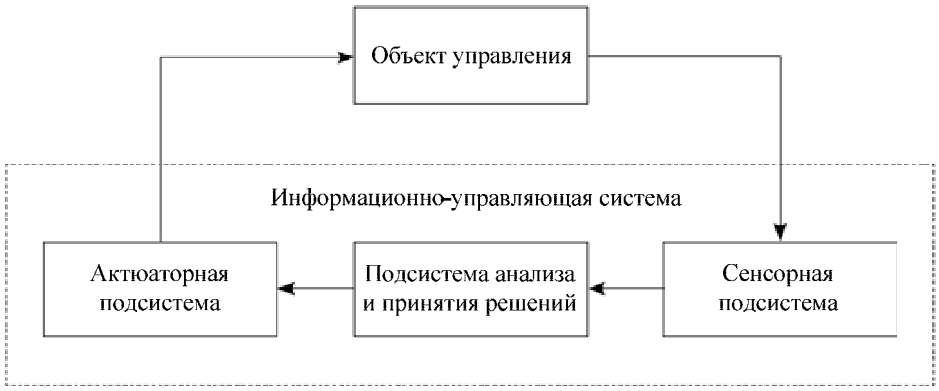


***Рис. 2.*** *Составляющие информационно-управляющих систем (по Винеру)*

На выходе объекта, совершающего малые перемещения установлен датчик, предназначенный для измерения параметров движения. На основе показаний датчика информационно-управляющая система вырабатывает сигнал на актюатор, который преобразует электрическую энергию в механическую и корректирует работу объекта. По данному принципу в настоящее время строятся системы гашения вибраций для сканирующих зондовых микроскопов, которые являются основными инструментами для исследования современных наноматериалов [1].

Идея интеграции систем управления и силовых элементов отражена в [3]. Именно интеграция позволит современным инженерам создавать рефлексивные моторные среды, которые будут применяться для смягчения последствий аварийных ситуаций на транспорте, создания роботизированных конечностей, систем гашения вибраций в авиационной, космической и военной промышленности.

С этой целью разработана конструкция емкостного электромеханизма [4], обладающего сенсорными и актюаторными свойствами (Рис. 3).

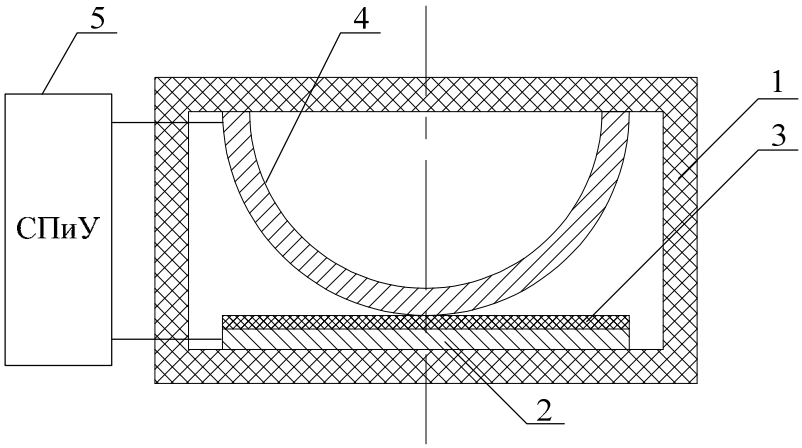


***Рис. 3.*** *Конструкция электромеханизма*

Данный электромеханизм крепится верхней частью корпуса 1 к объекту контроля, совершающего вибрации и способен производить малые перемещения при приложении разности потенциалов между электродом 4 и металлической подложкой 2. Кроме того, при деформации корпуса 1, происходит изменение емкости конденсатора, образованного электродом 4, слоем диэлектрика 3 и металлической подложкой 2 за счет изменения площади соприкосновения электрода и слоя диэлектрика. Сигнал емкости измеряется при помощи системы питания и управления 5 (СПиУ) и позволяет судить об уровне вибраций и микроперемещений корпуса объекта контроля для диагностики его механического состояния.

Испытания электромеханизма показывают его способность измерять перемещения до 200 мкм и совершать колебательное движение и микроперемещения при приложении разности потенциалов между электродом и металлической подложкой.

Следующим этапом развития ЕЭМП является совмещение нескольких способов преобразования энергии [7] в одном устройстве. Именно совместное использование механизмов преобразования энергии позволит повысить энергоемкость (отношение мощности устройства к его массе) устройств микросистемной техники.

Например, некоторые сегнетоэлектрики обладают пьезоэлектрическим эффектом, кроме того, имеют явно выраженную зависимость диэлектрической проницаемости от температуры.

Использование трех механизмов – электростатический, пьезоэлектрический и тепловой, позволяет повысить энергоемкость устройств микросистемной техники и расширить функциональные возможности преобразователей, которые способны контролировать несколько переменных процесса или объекта.

Таким образом, для современных разработчиков устройств микросистемной техники актуальными являются следующие задачи:

1. Уменьшение массо-габаритных показателей устройств микросистемной техники.

2. Расширение функциональных возможностей преобразователей путем использования их сенсорных и актюаторных свойств, объединения нескольких механизмов преобразования энергии в одном устройстве.

3. Разработка программных продуктов, позволяющих решать связанные физические задачи [6] для моделирования и проектирования ЕЭМП.

4. Объединение усилий ученых из разных отраслей науки и менеджеров, способных довести продукт до конечного потребителя.

*Список литературы*

**1. Головин Ю. И.** Введение в нанотехнику. М.: Машиностроение, 2007. 496 с.
**2. Гридчин В. А. Драгунов В. П.** Физика микросистем: учеб. пособие: в 2 ч. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. Ч. 1. 416 с.
**3. Лопота В. А., Юревич Е. И.** МЕХАТРОНИКА – основа интеллектуальной техники будущего [Электронный ресурс] // Микросистемная техника. 2003. № 1. URL: http://www.rtc.ru/publication/mehatron.shtml (дата обращения: 16.07.2010).
**4. Ляпунов Д. Ю.** Электромеханизм: пат. на полезную модель 95323, Российская Федерация, МПК B81 B3/00 / патентообладатель: ГОУ ВПО «Томский политехнический университет». № 2010108272/22. Заявл. 05.03.2010. Опубл. 27.06.2010. Бюл. № 18. 2 с.
**5. Нурулин Ю. Р., Пятышев Е. Н.** Микротехнологии и микроэлектромеханические системы – перспективное научно-инновационное направление [Электронный ресурс]. URL: http://www.mems.ru/pdf/Kompetenzia5_6_2006.pdf (дата обращения: 01.04.2008).
**6. ELCUT**: программа моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач [Электронный ресурс] // Сервер поддержки программы Elcut. URL: http://elcut.ru/ (дата обращения: 16.07.2010).
**7. Korvink, Jan G.** MEMS: a practical guide to design, analisys and applications. New York: Springer, 2005. 965 p.
**8. Stephen D.** Senturia. Microsystem Design. New York – Boston – Dordrecht – London – Moscow, 2002.

---

УДК 517.984.5

*Виктор Игнатьевич Филиппенко*
*Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса*

# СИММЕТРИЧЕСКИЙ КВАЗИДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ОПЕРАТОР И ЕГО СПЕКТРАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ©

В настоящей работе рассматривается некоторое обобщение линейного формально самосопряженного дифференциального оператора. Построены его обобщенная резольвента и обобщенные спектральные функции. Найдено спектральное разложение минимального квазидифференциального оператора. Полученные теоремы позволяют исследовать спектр, в частности, его кратность самосопряженного расширения минимального оператора.

Однопараметрическое семейство $E_t\left(-\infty < t < +\infty\right)$ ограниченных самосопряженных операторов в сепарабельном гильбертовом пространстве $H$ называется спектральной функцией симметрического оператора $A$, если для любого $f \in H$ [1]:

1) $\left(E_t f, f\right)$ - неубывающая функция параметра $t$;

2) $E_{t-0} = E_t$, то есть $E_t$ - непрерывная слева функция от параметра $t$;

3) $E_t f \to 0$ при $t \to -\infty$, $E_t f \to f$ при $t \to +\infty$;

4) $Af = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} t dE_t f, \left\|Af\right\|^2 = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} t^2 d\left(E_t f, f\right)$ при любом $f$, принадлежащем области определения $D(A)$ симметрического оператора $A$.

**1.** Пусть $F = \left(f_{ij}\right)$ - матрица-функция размерности $\left(n \times n\right)$, элементами которой служат комплекснозначные функции $f_{ij}$ $\left(i, j = 1, 2, ...n\right)$, определенные на интервале $I = (a; b)$, $\left(-\infty \le a < b < +\infty\right)$ и удовлетворяющие следующим условиям:

(1) $f_{ij} = 0$ в интервале $I = (a, b)$ для индексов, удовлетворяющих неравенствам $2 \le i + 1 < j \le n$;

---

© Филиппенко В. И., 2010