

Пьезомагнитоника-получение энергии из магнита с помощью пьезоэффекта (Россия, Москва)

Мостяев Владимир Александрович

Кандидат технических наук, с. н. с.
quartzcom@mail.ru

Обсуждается многовековое использование пьезоэлектрических кристаллических материалов для получения искры в кремневых оружиях и орудиях, для разжигания трута и др. устройств. Приводится список таких материалов. Анализируются работы учёных для получения синтетических пьезоэлектрических материалов и устройств на их основе. Приводятся расчётные данные электрических напряжений, возникающих на пьезо – и пироэлектрических материалах при воздействии механических сил.

Анализируются работы по использованию прямого пьезоэффекта путём преобразования давления, создаваемого автомобилями, вагонами железной дороги, самолетами при взлете и посадке, движения человека, а также различных вибраций как для значительных потребителей энергии- освещения, табло, светофоров и т.п. устройств, так и минипотребителей типа смартфонов, устройств коммуникационного характера, беспроводной связи, за счет получения энергии от пьезоэлемента за счет вибраций различного рода. Предлагается альтернативное решение получения электрической энергии за счёт использования связи пьезоэлемент-магнит путём извлечения энергии из квантованного пространства. Обосновывается, что изучение такого рода научно-технической деятельности вызывает необходимость появления новой отрасли науки, - пьезомагнетоники.

Ключевые слова. Кварц, пьезо-пироэлектричество, энергия.

Mostyaev Vladimir Aleksandroviz

PIEZOMAGNETIC-GETTING ENERGY FROM THE MAGNET WITH THE HELP OF THE PIEZOELECTRIC EFFECT (Russia, Moscow)

The centuries-old use of piezoelectric crystalline materials for producing sparks in flint weapons and tools, for kindling tinder and other devices is discussed. A list of such materials is provided. The work of scientists to obtain synthetic piezoelectric materials and devices based on them is analyzed. The calculated data of electrical stresses arising on piezoelectric and pyroelectric materials under the influence of mechanical forces are given.

The author analyzes the work on using the direct piezoelectric effect by converting the pressure created by cars, railroad cars, planes during take-off and landing, human movement, as well as various vibrations, as for significant consumers, energy and lighting, signs, traffic lights, etc. devices and mini - consumers such as smartphones, communication devices, wireless communications, due to the receipt of energy from a piezoelectric element due to various kinds of vibrations. An

alternative solution is proposed for generating electrical energy through the use of a piezoelectric- magnet bundle by extracting energy from a quantized space.

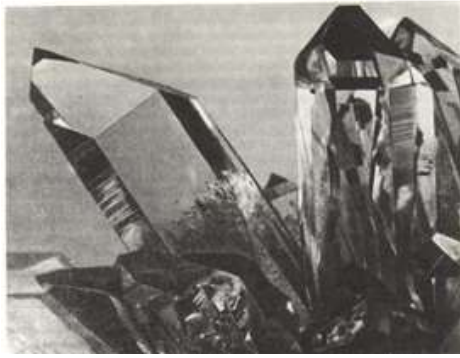
It is proved that the study of this kind of scientific and technical activity necessitates the emergence of a new branch of science - piezomagnetronics .

Key words: Quartz, piezo-piroelectrica, Energy.

Вот пистолеты уж блеснули,
Гремит о шомпол молоток.
В граненый ствол уходят пули
И щелкнул в первый раз курок.
Вот порох струйкой сероватой
На полку сыплется. Зубчатый,
Надёжно ввинченный кремь
Взведён ещё...

А. С. Пушкин. Евгений Онегин

Издrevле было известно свойство некоторых минералов при ударе ими или о них высекать искру. Так добывали огонь и поджигали трут, которым разжигали костёр, трубку. Впоследствии почти несколько сот лет использовали кремь- скрытнокристаллические модификации кварца для поджигания пороха в «кремневых» мушкетах, разновидностях ружей, пистолетах, пищалях и т.п. видах оружия. Для извлечения искры использовался кварц или горный хрусталь и его разновидности-аметист (фиолетово-пурпурный), цитрин (от жёлтого до коричневого), розовый кварц (розовый иногда с блестками), авантюрин (беловатый с сильным зелёным отблеском), праз (луково-зеленый), «тигровый глаз» и ястребиный глаз (полосчатые, от желтого до коричневого и синий-непрозрачные), яшма (темноокрашенная, обычно от красноватой до коричневой, непрозрачная), кварцит (беловатая тонкозернистая порода, непрозрачная), халцедон различной разновидности (агаты, хризопраз, карнеол, огненный агат, оникс, плазма, сард и др. [1, 46-50, 114-115]).



Друза кварца

Кварц – пьезоэлектрик.

Пьезоэлектричество было известно давно, но научное изучение пьезоэффекта и фактически его открытие принадлежит братьям П. и Ж. Кюри, начатое в 1880 году.

При воздействии на пьезоэлектрический материал механической силы на поверхностях пластинок пьезоэлектрического материала появляется электрическое напряжение. Имеется и обратный пьезоэффект, когда под воздействием электрического поля возникает механическое напряжение.

Пьезоэлектрический кварц – это стратегический материал, работы с которым до 60-х годов были закрытыми, так как он использовался в кварцевых резонаторах, фильтрах, линиях задержках в радиолокационных станциях и т.п. изделиях оборонного и закрытого характера. В настоящее время изделия пьезоэлектроники используются очень широко, так как отображение частоты и времени делается самым экономичным, простым и дешёвым способом. Наиболее широко для этого используются кварцевые миниатюрные резонаторы частотой 32768 Гц (2×10^{15}). Российские учёные и инженеры, внесли огромный вклад в развитие пьезоэлектроники, в том числе в разработку и производство синтетических пьезоэлектрических материалов, таких как кварц, сегнетова соль, ниобат и танталат лития, пьезокерамика, лангасит, пьезоэлектрические плёнки и др. и изделий из них [2-6].

Многие пьезоэлектрики, в том числе перечисленные, являются пироэлектриками. Все пироэлектрики являются пьезоэлектриками, но не наоборот. Пироэлектричество – возникновение разноимённых электрических зарядов на противоположных поверхностях некоторых диэлектриков, как кристаллических минералов, так пьезокерамики и некоторых полимеров при нагревании или охлаждении [7]. О пироэлектрических материалах, физических свойствах и применении можно найти, например в [8].

Впервые пьезоэлектрический эффект начал изучать Ф. Эпинус (1756), после того как в Европу завезли турмалин («цейлонский магнит»). Он установил, что при нагревании кристалла на концах образуются электрические заряды противоположного знака, которые притягивают частицы пепла. Д. Брюстер в 1824 г. ввёл термин «пьезоэлектричество». Кельвин связал пьезоэлектрический эффект с изменением электрической поляризации при изменении температуры. Т. Аккерман исследовал пьезоэлектрический эффект в ряде кристаллов в широком интервале температур и обнаружил убывание пьезоэффекта при понижении температуры. Первая микроскопическая теория пьезоэлектричества создана С.А. Богуславским в 1915г.[9].

В дальнейшем было установлено, что у сегнетоэлектриков величина пьезоэффекта вблизи фазового перехода может быть на один-два порядка больше, чем у кристаллических пьезоэлектриков [10-13].

Уравнение пьезоэлектрического эффекта описывает приращение спонтанной поляризации

ΔP_s кристалла при изменении его температуры ΔT . В первом приближении величины ΔP_s и ΔT связаны линейно

$$\Delta P_s = p \Delta T,$$

где p - пьезоэлектрический коэффициент.

Изменение P_s с температурой может происходить по двум причинам. Прежде всего, при изменении температуры свободный кристалл за счёт эффекта теплового расширения меняет свои размеры: сужается или расширяется. В результате этого даже при условии, что в кристалле не произошло перестройки его структуры из-за изменения температуры, спонтанная поляризация кристалла изменится, так как изменится число зарядов в единице объёма. Таким образом, в пьезоэлектрическом эффекте должна присутствовать часть обусловленная деформацией кристалла. Эта часть пьезоэлектрического эффекта трактуется как пьезоэлектрическая. Деформационная, пьезоэлектрическая часть пьезоэлектрического эффекта называется вторичным пьезоэлектрическим эффектом. Его коэффициент обычно обозначают как p'' . А первичный, истинный пьезоэффект описывается коэффициентом p' . В линейных пьезоэлектриках, таких как турмалин, истинный

пироэффект, как правило, мал и составляет 2-5% от полного эффекта [10; 11, 648-650]. Но в других пьезокристаллах и сегнетоэлектриках первичный пироэффект может достигать 10%. [11,585-592; 12;13]. Уравнение пироэффекта, учитывающее его разделение на первичный и вторичный имеет вид:

$$P_s=(p' + p'')\Delta T=p\Delta T$$

Все величины, кроме температуры T являются векторами, т.е. изменяются в зависимости от кристаллографической ориентации кристалла.

Кристаллический кварц не является пироэлектриком, но индуцирование электрического поля при свободной деформации кристалла за счёт термического расширения реализуется через пьезоэлектрический эффект [14; 15, 24-25,46-50].

В области комнатных температур в линейных диэлектриках пирокоэффициент p , как правило мало зависит от температуры. Абсолютное значение p близко к одной электростатической единице. Для турмалина, например, коэффициент полного пироэффекта составляет – 1,3 ед. СГСЕ.

Электрическое напряжение V возникающее на пластинке кристалла триглицинсульфата площадью $\Phi=10\times 10$ мм и толщиной $d=1$ мм, вырезанной перпендикулярно полярной оси при резком изменении его температуры на $\Delta T= 10$ К (пироэлектрическая постоянная ТГС $p^\sigma=45,0$ нКл/см²•К), его диэлектрическая постоянная равна 30[14].

$$V=0,1(\text{см})\cdot 45\cdot 10^{-9} \quad (\text{Кл}\cdot\text{см}^2\cdot\text{К}^{-1})\cdot 10\text{К}/30\cdot 8,85\cdot 10^{-14}(\text{Кл}\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{см}^{-1})=17,0 \text{ кВ.}$$

Аналогично для турмалина ($\epsilon=8,2$, $p=1,3\cdot 10^{-5}$ Кл/м²•К)

$$V=0,1 \quad (\text{см})\cdot 1,3\cdot 10^{-9} \quad (\text{Кл}\cdot\text{см}^2\cdot\text{К})\cdot 10\text{К}/8,2\cdot 8,85\cdot 10^{-14}(\text{Кл}\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{см}^{-1})=1,7 \text{ кВ.}$$

Для кварца у пластины, вырезанной перпендикулярно оптической оси ($\epsilon=4,0$ $p=0,69\cdot 10^{-5}$ нКл/м²•К).

$$V=0,1(\text{см})\cdot 0,69\cdot 10^{-9} \quad (\text{Кл}\cdot\text{см}^2\cdot\text{К}^{-1})\cdot 10\text{К}/4,0\cdot 8,85\cdot 10^{-14} \quad (\text{Кл}\cdot\text{В}^{-1}\cdot\text{см}^{-1})=0,19\text{кВ}$$

Данные сведены в таблицу 1. [11-17].

Таблица 1.

Минерал	Диэлектрическая проницаемость, ϵ_2	Пирокоэффициент ρ , Кл/см ² К	Электрическое напряжение кВ.
*Кварц, SiO ₂	4,0	*0,69•10 ⁻⁹	0,19
Турмалин, (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)•(OH) ₄	8,2	1,3•10 ⁻⁹	1,7
ТГС, (NH ₂ CH ₂ COOH)•H ₂ SO ₄	30,0	45•10 ⁻⁹	17
Ниобат лития, LiTaO ₃	30,0	(4-9)•10 ⁻⁹	1,5-3,0
Танталат лития, LiTaO ₃	45,0	17•10 ⁻⁹	6,4
Пьезокерамика системы ЦТС	300-3000	(6-50)•10 ⁻⁹	0,2-0,1

*В кварце *вторичный пироэффект, описываемый ρ* , возникает при свободной деформации кристалла, он индуцируется термическим расширением через пьезоэлектрический эффект [15, 24-25].

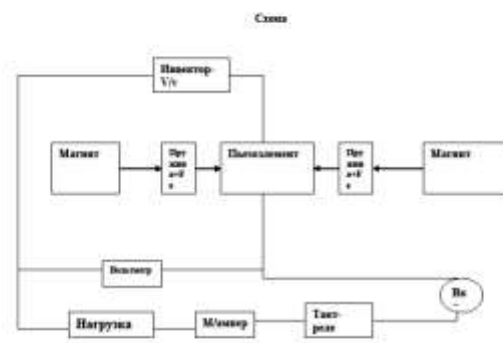
В таблицу добавлены для сравнения расчетные данные по двум синтетическим кристаллам – ниобата лития и танталата лития и пьезокерамики системы ЦТС [16-18].

Из таблицы видно, что пьезоэлементы в соответствии с пьезоэффектом генерируют значительную энергию.

В свою очередь магнит обладает энергией, которая широко используется в науке и технике. В соответствии с концепцией В.С. Леонова, сформулированной в его работах и обобщенной в [20], энергия получаемая через магнит из квантованного пространства теоретически бесконечна.

Если объединить пару – пьезоэлемент-магнит, чтобы магнит периодически качал пьезоэлемент и отдавал энергию, то можно получить электрогенератор.

Схема такого устройства приведена ниже:



Пружины могут быть заменены на другие устройства, например пьезоактюаторы – пьезоэлектрические устройства малых перемещений.

Пьезоактюатор на основе пьезоэлектрических плёнок, когда используется обратный пьезоэффект, выделяет импульс очень небольшой величины. Например, в работах [21,22], показано значение получаемых электрических напряжений и энергий.

Для эффективной работы, учитывая низкий коэффициент преобразования пьезокерамики ($d_{33} \approx 500-600 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н) переменной механической энергии в электрическую, требуется существенное значение переменной силы более чем 10^6 Па. Пьезогенератор работает только при переменном воздействии и не реагирует на статическое воздействие. Приведенные в статье расчетные соотношения позволяют рассчитать величину образования заряда на многослойном пьезоэлектрическом преобразователе от усилия, созданного постоянным магнитом.

В качестве пьезоэлектрического преобразователя возможно применение серийного многослойного пьезоэлектрического актюатора типа АПМ-2-15М.

Конструктивно актюатор выполнен в виде пьезокерамического блока размером $6 \times 8 \times 41$ мм, состоящего из 15 шт. пьезокерамических элементов ($6 \times 6 \times 2,7$ мм), состоящих из 50 слоев пьезокерамических пленок толщиной 50 мкм.

В качестве пьезокерамики используется специально разработанный пьезокерамический материал ЦТС-46. Основные параметры ЦТС-46:

относительная диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{33}^T / \varepsilon = 2100$;

– пьезоэлектрический модуль $d_{33} = 450$ пКл/Н;

– пьезоэлектрический коэффициент
напряжения $g_{33} = -24,2 \cdot 10^{-3}$ В·м/Н.

Для импульсного давления $T = 10^6$ Па на обкладках
актюатора возникает заряд:

$$Q = d_{33} \cdot T \cdot S, \text{ где}$$

S – площадь поверхности многослойного пьезоактюатора.

$$S = S_0 \cdot N, \text{ где}$$

S_0 – площадь сечения пьезоэлемента, $S_0 = 36 \cdot 10^{-6}$ м²;

N – количество пьезоэлементов, $N = 50 \cdot 15 = 750$.

$$Q = 450 \cdot 10^{-12} \cdot 10^6 \cdot 36 \cdot 10^{-6} = 1,62 \cdot 10^{-9} \text{ К.}$$

Возникающее напряжение на обкладках актюатора:

$$U = g_{33} \cdot T \cdot \Delta, \text{ где}$$

Δ – толщина пленки – 50 мкм;

$$U = 24,2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 1,21 \text{ В.}$$

Генерируемая импульсная энергия $W = Q \cdot U \approx 2 \cdot 10^{-9}$

Дж.

Авторы делают вывод о невозможности создания электрогенератора с высокой эффективностью из-за малого импульса генерируемой энергии. И этот вывод верен для одного импульса.

Но идея, излагаемая в настоящей статье в том, что необходимо качать энергию в высокочастотном режиме и использовать большое количество отдельных ячеек «пьезоэлемент-магнит»!

Тогда количество добываемой энергии может быть весьма существенным!

Ниже приведены расчётные данные получаемой энергии в зависимости от частоты качания (извлечения) энергии, времени качания и количества ячеек качания!

Энергия в зависимости от частоты импульсов пьезоактюатора при выкачивании её из магнита

Табл.2

Количество импульсов

1 импульс	10 МГц	100 МГц	1 ГГц
2×10^{-9} Дж	2×10^{-2} Дж	2×10^{-1} Дж	2 Дж

Энергия в зависимости от времени качания одного импульса

Табл.3

1 раз	1 час	1 сутки	1 год
2×10^{-9} Дж	0,0000324 Дж	0,000778 Дж	0,28 Дж

Энергия в зависимости от частоты и времени качания

Табл.4

Сутки/10 МГц	Сутки/100 МГц	Сутки/1ГГц	Год/1ГГц
7780Дж=2,16 Вт	21,6 Вт	216 Вт	77760Вт=77,760кВт

При комплектации в 1000 шт. ячеек возможно получение энергии в зависимости от частоты и времени качания

Табл.5

Сутки/10 МГц	Сутки/100 МГц	Сутки/1 ГГц	Год/1ГГц
2160 Вт	21,6 кВт	216 кВт	77760кВт=77,760 МВт

В настоящее время проведены и проводятся работы по Использованию пьезогенераторов для получения электрической энергии за счёт приложения механической силы.

Впервые израильская компания Innowattech начала разработку вариантов использования пьезоэлектрических генераторов путём преобразования энергии давления на пьезоэлементы [23] за счёт давления автомобилей на полотно дороги, движущегося железнодорожного транспорта, самолёта при взлете и посадки.

Предварительные расчёты, проведенные израильской фирмой показывают, что при движении 10-20 поездов с числом вагонов не менее 10 в час возможно получить до 200 квт/ч, способных обеспечить электроснабжением до 300 индивидуальных домов.

Реализация одного из таких проектов на автомобильной трассе Венеция-Триест при интенсивности движения 600 автомобилей в час на двухполосном шоссе длиной 10 км позволяет получить до 5 МВт/ч, что обеспечивает электропитанием освещение дороги, электронные системы управления дорогой (светофоры, табло и т.д.).

Предварительные расчёты использования волновых электростанций путём преобразования механической энергии набегающих прибрежных волн в электрическую, показали их низкую эффективность [24].

Другим направлением применения пьезоэффекта и использование его для преобразования механического давления в электричество являются мини-пьезогенераторы [25]. Показана перспективность изгибных пьезогенераторов в малогабаритных устройствах беспроводной электроники и устройствах коммуникации – в телефонах сотовой связи, смартфонах, бытовой электромеханики и электротехники. Успехи в создании маломощных СБИС уменьшают требования к питанию до десятков и сотен микроватт.

Извлечение энергии с помощью пьезогенераторов за счёт использования вибрации имеет ряд преимуществ по сравнению с солнечной энергией, литиевыми батарейками и электростатическим преобразованием.

При использовании прямого преобразования механической энергии в электрическую при малом потреблении энергии наиболее эффективно использовать гибкие пьезоэлектрические датчики – пьезобиморфы считают авторы работ [26-27].

Примерами разработки и применения миниатюрных пьезогенераторов, используемых при движении человека во время ходьбы, бега, танцах служат работы описанные, например в [28-29].

Микро-пьезогенераторы широко используются в системах измерения давления в автомобильных шинах фирмой Morgan Electro Ceramics (Англия) [30].

Использование вибрации, получаемой от зданий, машин, человека и т.п. реализуется в Европейском исследовательском проекте VIBES (Vibration Energy Scavenging) [31].

Как показано выше, получение энергии за счёт использования пьезоэффекта при приложении механической силы железнодорожных вагонов, автомобилей, движения человека, а также различного рода вибраций и малых перемещений позволяет получать как значительные объёмы электрической энергии для освещения, работы различных табло, светофоров и др. достаточно энергоёмких устройств, так и минимальных количеств электричества для работы устройств телекоммуникационного характера, телефонов, смартфонов, бытовых приборов и т.п. устройств.

Считается, что заряд, или разряд электрического напряжения в пьезоэлементе занимает время $(0,1-0,08) \times 10^{-12}$ с. Величины мощности при выкачивании энергии пьезоэлементом через магнит одной ячейки достаточно скромные.

Однако при ударном воздействии, например, в импульсе пьезозажигалки по расчётам, сделанным на предприятии Аврора в Волгограде, производящим пьезокерамику и изделия из неё, мощность в импульсе может составлять 750 киловатт [32].

В работе [33] было показано, что при использовании связки пьезоэлемент-магнит можно получить существенные значения бесплатной энергии из квантованного пространства в соответствии с концепцией В.С. Леонова [20-11] о неисчерпаемости энергии космоса, создаваемой сверхсильным электромагнитным взаимодействием.

В теории сверхсильного электромагнитного взаимодействия (СЭВ), показано, что в одном кубическом метре вакуума содержится энергии – 10^{73} Дж/м³, достаточной для создания ещё одной вселенной!

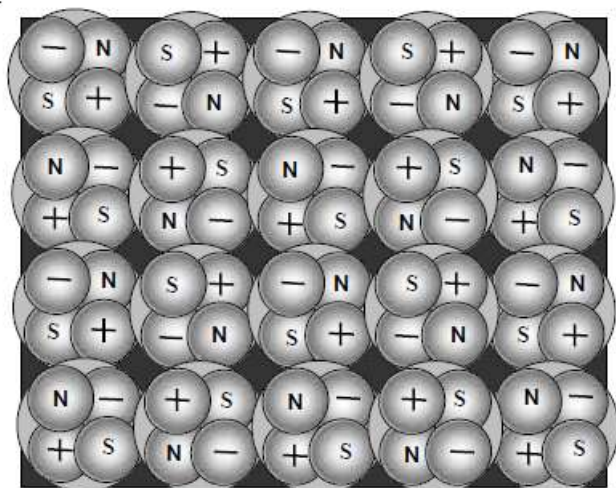


РИС. СХЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ
КВАНТОВАННОГО ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ [20, 7].

Поэтому ячейку пьезоэлемент-магнит можно рассматривать как форточку в виде магнита в квантованное пространство, а пьезоэлемент- как кран, её открывающий.

Целесообразно оценить создаваемые ячейкой пьезоэлемент – магнит мощности и КПД.

При значениях энергии, получаемой при одиночном и высокочастотном использовании системы пьезоэлемент – магнит на примере связки – пьезоактюатора из пьезокерамики ЦТС-46 и магнита получают энергии, представленные в таблице 1 [33].

Мощность

$$N = \frac{A}{T}$$

где

A-энергия,
T-время.

Соответственно мощности в зависимости от времени импульса будут равны

Табл.6

Значение	1 импульс	10 МГц	100 МГц	1 ГГц
А-энергия	2×10^9 Дж	2×10^{-2} Дж	2×10^{-1} Дж	2 Дж
Н-мощность	2×10^9 Вт	$2 \times 10^{+5}$ Вт	$2 \times 10^{+6}$ Вт=2000 кВт	$2 \times 10^{+4}$ кВт=20 МВт

При формировании блока из 1000 ячеек пьезоэлемент-магнит можно получить энергии и мощности, представленные в табл.6

Табл.7

Значение	1 импульс	10 МГц	100 МГц	1 ГГц
А-энергия	2×10^{-6} Дж	20 Дж	200 Дж	2000 Дж
Н-мощность	2×10^{-6} Вт	0,2 МВт	2 МВт	20 МВт

Если не ограничиваться только одной тысячей ячеек, а использовать значительно большее их количество, то можно строить различной мощности электростанции.

Применение связки пьезоэлемент-магнит для выкачивания энергии из квантованного пространства там, где нужна электрическая или другая преобразованная энергия безгранично. В первую очередь там, где её трудно получать другими способами, например, в беспилотных летательных и морских, в том числе подводных аппаратах.

Как видно из таблиц мощности ячейки пьезоэлемент-магнит возрастают по мере увеличения частоты качания энергии. Это соответствует тем же процессам, которые происходят в лазерной технике, - чем короче импульс, тем больше мощность. Длительность импульса в современных лазерах достигает пико и фемтосекунд (10^{-15} сек), что обеспечивает гигантские мощности, позволяющие получать миллионы градусов на облучаемой поверхности.

Целесообразно оценить КПД системы пьезоэлемент-магнит. Коэффициент полезного действия - это отношение полезно используемой энергии к суммарному количеству энергии,

полученному системой. Если магнит является связующим звеном между полезной нагрузкой и бесконечным количеством энергии, заключённом в квантованном пространстве [20], то знаменатель является бесконечной величиной и КПД должен быть близок к 1. Магнит является краном, через который пьезоэлемент или пьезоэлементы черпают энергию. Вероятно, всё же КПД такой системы нужно оценивать по потерям в самой этой системе и оперировать не КПД, а *коэффициентом передачи*.

Таким образом использованием связки пьезоэлемент-магнит можно получать необходимое количество бесплатной квантованной энергии.

Конечно, предстоит большая работа как в фундаментальном научном плане, так и в прикладном.

В фундаментальном плане предстоит изучить способ получения энергии магнитом из квантованного пространства, изучить носители передаваемой энергии, взаимосвязи со структурой, размерами, характеристиками магнита и т.п.

В прикладном научном плане нужно отрабатывать схемы получения энергии, свойства и характеристики пьезоэлементов, оптимальные варианты пьезокерамических и кристаллических пьезоэлектриков, их размеры для различных применений, как крупногабаритных вариантов для получения значительных количеств электричества, так и микросхем для использования в современных электронных миниатюрных устройствах.

Заключение

1. Предложен способ получения альтернативной дешёвой энергии.
2. Предложена схема получения альтернативной энергии.
3. Соединение пьезоэлемента и магнита при высокочастотном извлечении энергии и объединении их в ячейки позволяет получать значительные величины возобновляемой энергии.
4. Предложенный способ получения энергии позволяет использовать как микроминиатюрные варианты ячеек, так и крупногабаритные варианты на основе пьезокерамики или на других синтетических материалах.
5. Пьезомагнитоника – новая отрасль науки, изучающая свойства и поведение пьезоэлектриков и магнитов, их

взаимодействие в фундаментальном и прикладном отношении, а также приборов и устройств на их основе.

6. Новое научное направление – пьезомагнитоника – требует значительного ресурса исследований как в фундаментальном, так и в прикладном отношении, а также приборов и устройств на их основе [34].

Литература

1. М. О. Доноху. Кварц.1990. –Москва. «Мир» .
2. А.Г. Смагин. Прецизионные кварцевые резонаторы. М.-1964.
3. М.И. Ярославский, А.Г. Смагин. Конструирование, изготовление и применение кварцевых резонаторов.- М.:Энергия, 1971.
4. Пьезоэлектрические резонаторы. Справочник. М. -«Радио и связь». 1992.
5. И. Зеленка. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах. –М. -Мир, 1990.
6. В.А. Мостяев, П.Г. Поздняков. «Российская пьезо-акустоэлектроника», под редакцией акад. Ю.И.Гуляева. - 2008, изд. Радиотехника, Москва
7. В.А. Мостяев, В.И. Дюжиков. Технология пьезо-и акустоэлектронных устройств. М. - Ягуар.1993.
8. «Электроника», энциклопедический словарь. М. -1991.
9. Б.А. Струков. Пирозэлектрические материалы: свойства и применения. 1998. -МГУ.
Соросовский Образовательный журнал.
- 10.С. Богуславский. Пирозэлектричество Phys. Zs. -1914.
- 11.У. Кэди. Пьезоэлектричество и его практические применения. М. 1949.- Изд. Иностранной литературы.
- 12.У. Мэсон. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультраакустике. М. -ИЛ. -1952.
13. Дж. Най. Физические свойства кристаллов. «Мир».-1965.
14. Г.А. Смоленский, Н.Н. Крайник. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. «Наука».- 1968.
- 15.А. А. Буш. Пирозэлектрический эффект и его применение. М. 2005.- МГРЭА.
- 16.Ю.С. Кузьминов. Электрооптический и нелинейно-оптический кристалл ниобата лития. М. Наука- 1987.
- 17.Ю.С. Кузьминов. Ниобат и танталат лития – материалы для нелинейной оптики. – М. Наука,-1975.
- 18.Е. Г. Смажевская, Н.Б. Фельдман. Пьезоэлектрическая керамика. М. «Советское радио». -1971.

19. И. С. Желудев. Физика кристаллических диэлектриков. М. Наука. -1968.
20. V. S. Leonov. Quantum Energetics. 2010.-Cambridge International science publishing.
21. А. Гриценко, В. Никифоров, Т. Щеголева. Состояние и перспективы развития пьезоэлектрических генераторов. Компоненты и технологии. №9.- 2012, стр. 36-38.
22. Функциональная электроника на основе пьезоэффекта. Под ред. С.С. Нерсесова. Техносфера. -М. 2014.
23. <http://www.innowattech.com>
24. Roundy S., Wright P. K., Rabaev. A Study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes//Computer Communications. -2003. № 26.
25. Акопян В., Ларинов И., Истомин И. Пьезогенераторы – новое перспективное направление малой энергетики // Наука и техника. -2011, № 12.
26. Сафронов А.Я., Климашин В.М., Никифоров В.Г., Парфенов Б.Г., Ярошевич В.А. Пьезо-керамические пакеты и многоблочные актюаторы //Компоненты и технологии. -2002, № 6.
27. Никифоров В.Г., Климашин В.М., Сафронов А. Я. Биморфные пьезоэлектрические элементы: актюаторы и датчики // Компоненты и технологии. -2003, № 4.
28. Kymissis J., Kendall C., Paradiseo J.J., Gershenfeld N. Parasitic power harvesting in shoes//Proc. 2 IEEE Int. Conf. Wearable Computing. August. -1998.
29. Shenck N. S., Paradiseo J. J. Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectric// IEEE Mikro. May-June. 2001.- V. 21. № 3.
30. <http://www.morganelectroceramics.com>
31. Vibration Energy Skavenging Project. www.vibes.ecs.soton.ac/uk
32. А. Ф. Гейер. Пьезокерамические источники высокого напряжения. https://avrora-binib.ru/stati/piezokeramicheskie_istochniki_vysokogo_napryzheniya/
33. Мостяев В. А. Пьезомагнитоника. «Точная Наука»,- № 48, 2019.
34. Свидетельство РАЕ № 0201 (17.06.2019) о включении в «Реестр новых научных направлений» «Пьезомагнитоники».

