

**И. В. Пислар**

## **ДИСТАНЦИОННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИСТОЧНИКОВ АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

*Рассмотрены способы пополнения энергии автономных источников питания радиотехнических устройств. Описан способ получения электроэнергии при помощи кинетической энергии капель дождя. Приведены экспериментальные результаты эффективности передачи электромагнитных волн без повышения мощности передающей стороны при использовании умножителя напряжения. Проанализирована возможность использования световой энергии искусственных источников света.*

**Ключевые слова:** альтернативная энергия, электромагнитная энергия, солнечная энергия.

### **Введение**

Значительное количество радиотехнических устройств, таких как: системы охраны, измерительные датчики, требует автономного, независимого питания, которое поддерживало бы функционирование устройства в местах, где нет доступа к стационарной электросети 220 В. Использование аккумуляторов частично решает проблему по обеспечению автономного питания, но их нужно постоянно заменять или подзаряжать. При этом применение дистанционных методов подзарядки аккумуляторов предпочитают перед проводными за счет надежности и возможности утаивания работающего блока устройства.

### **Использование кинетической энергии капель дождя**

Во всем мире увеличивается спрос [1] на использование альтернативной энергии. В связи с этим расширяется поиск новых альтернативных источников возобновляемой энергии.

Кинетическая энергия капель дождя, как и энергия солнца или ветра, является возобновляемым источником энергии. На данный момент дождевые капли относятся к наименее эксплуатируемым источникам энергии.

Ежегодно на поверхность Земли выпадают сотни тысяч кубических километров воды в виде дождя. Каждая капля имеет кинетическую энергию, которая зависит от размера капли и от ее скорости. Эксплуатация такого преобразователя энергии является абсолютно экологически чистой без каких-либо выбросов в атмосферу или нанесения вреда окружающей среде. В отличие от ветрогенераторов, вообще не существует никаких препятствий для использования устройства такого вида в населенных пунктах, поскольку оно не создаёт дополнительные акустические шумы. К тому же в устройстве нет движущихся механических частей, которые существенно уменьшают время безотказной работы. При отсутствии солнца (облачная погода, ночь) использование солнечных батарей является неэффективным. Преобразование кинетической энергии капель дождя в электрическую может служить дополнением (дополнительным источником) к солнечным фотоэлементам.

Впервые опыты по получению электроэнергии из капель дождя были проведены французскими учеными [2, 3]. Результаты их исследования подтверждают возможность эксплуатации энергии дождя. Суть способа получения электроэнергии заключается в том, что при попадании капли на пьезопластину-генератор возникает упругая механическая деформация, порождающая возникновение электрического напряжения (прямой пьезоэффект) на электродах пьезо-генератора.

Как пьезоэлектрические преобразователи французские ученые использовали пластину PVDF толщиной 25 микрометров. Установлено, что энергия, которую несет одна среднестатистическая капля дождя имеет величину в  $2 \text{ мкДж} \div 1 \text{ мДж}$  в зависимости от

диаметра капли. На  $1 \text{ м}^2$  поверхности Земли приходится около  $1 \text{ Вт / час}$ .

Естественно, что с такими величинами энергии дождя промышленных станций, которые питали хотя бы целый дом, не построить, поскольку полученной энергии будет недостаточно, однако ее будет достаточно для того, чтобы питать маломощные потребители электроэнергии, например, светодиодные источники света, радиоприемники и т. п.

Разработан модифицированный вариант устройства использования кинетической энергии капель дождя, работающий следующим образом: когда капли дождя падают на поверхность пьезопластин-генератора, в нем возникает механическая деформация, которая обуславливает возникновение напряжения в результате прямого пьезоэлектрического эффекта. Благодаря тонкому изолирующему материалу, которым покрыта пьезопластина-генератор, устраняется возможность замыкания электродов пьезопластины-генератора водяной пленкой. Для того чтобы эффективно осуществлять преобразования кинетической энергии из следующих капель дождя, пьезопластину-генератор размещают под углом к горизонту около десяти градусов. Благодаря этому капли воды стекают с определенной точки данной пьезопластины-генератора на другую, размещенную ниже. Поэтому капли воды не будут поглощать кинетическую энергию следующей падающей капли и передавать приобретенную в процессе падения кинетическую энергию следующей пьезопластине-генератору. Электрическая принципиальная схема представлена на рис. 1.

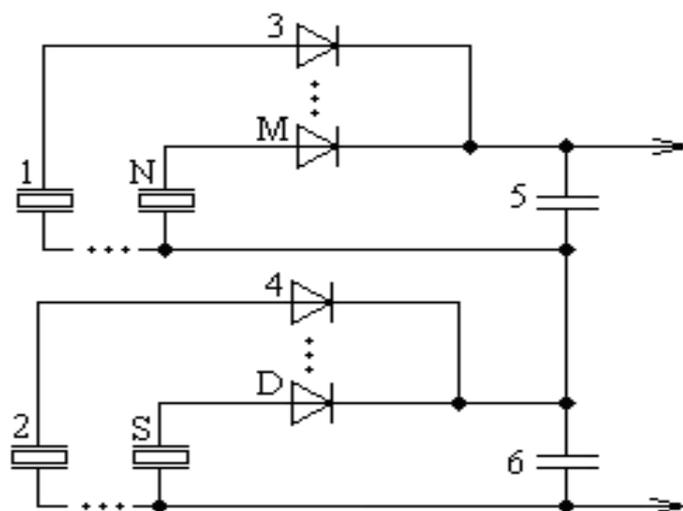


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема пьезоэлектрического преобразователя кинетической энергии капель дождя

Для устранения обратного пьезоэффекта, который может возникнуть в результате параллельного подключения двух и более пьезопластин-генераторов (1) между собой, необходимо использовать диод (2). Количество диодов  $M$  равно количеству использованных пьезопластин-генераторов  $N$ , то есть  $M = N$ . Скорость зарядки конденсатора (5) зависит от величины деформации пьезопластины-генераторов и, в конечном итоге, от кинетической энергии капель дождя и их количества в единицу времени, а следовательно, от количества заряжающих электрических импульсов. Количество заряжающих конденсатор электрических импульсов можно существенно увеличить, если заряжать данный конденсатор от достаточно большого количества включенных параллельно пьезопластин-генераторов. Последовательное включение двух конденсаторов (5) и (6), подключенных соответственно к звеньям  $1 \div N$  и  $2 \div S$  пьезопластины-генераторов через диоды  $3 \div M$  и  $4 \div D$ , позволяет получить вдвое больший уровень выходного напряжения. На рис. 2 отражен концентратор (7) капель дождя, который собирает и концентрирует падающие капли, стекающие на пьезопластину-генератор. Гидроизолированная коробочка (8), прикреплённая к раме-корпуса

(9), содержит необходимое количество радиоэлементов (диоды, конденсаторы), которые надежно защищены от капель дождя. Пьезопластина-генератор закреплена на консоли (10), которая с другого конца прикреплена к раме-корпуса.

При каскадном размещении пьезопластин-генераторов (друг над другом) на расстоянии почти 1,5 м из одной капли можно получить практически в два раза больше электрической энергии. С увеличением расстояния между пьезопластинами-генераторами скорость падения капли возрастает до показателей, при которых силу тяжести уравнивает сила аэродинамического сопротивления воздуха.

Экспериментальные результаты [4, 5] показали, что от одной капли при условии, что капля воды падает с высоты 1,5 м, можно получить напряжение зарядки конденсатора на уровне 0,8 В с одного звена (одна пьезопластина-генератор, один диод и конденсатор). Хаотичность падения капель не позволяет эффективно использовать данный способ для получения электроэнергии. Проблему можно решить, собирая капли и направляя их с помощью концентратора. Концентратор капель дождя собирает и концентрирует падающие капли, которые стекают на пьезопластину-генератор. Концентратор выполнен в форме конуса (рис. 2) с прорезями посередине в каждой секции для направления стекающих капель в центр пьезопластины-генератора.

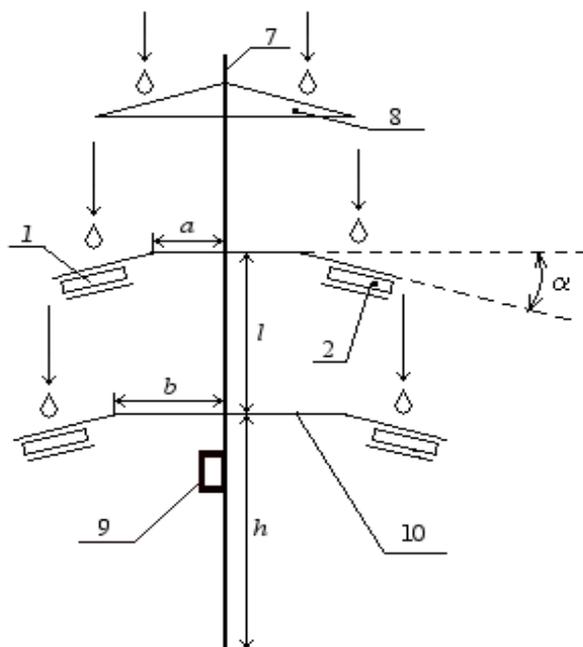


Рис. 2. Пьезоэлектрический преобразователь кинетической энергии капель дождя

Во время проведения экспериментального исследования была определена средняя величина кинетической энергии одной капли – 0,96 МДж. Результаты опыта подтверждают возможность использования капель дождя для получения электроэнергии и позволяют рекомендовать применение прибора пьезоэлектрического преобразователя кинетической энергии капель дождя в области энергетики за счет таких преимуществ:

- абсолютно экологическая и безопасная эксплуатация прибора;
- отсутствие движущихся механических частей (роторов): отсутствуют акустические шумы;
- устройство может служить дополнением к солнечным, ветровым, гидроустановкам для получения электроэнергии.

В среднем за год в Черновцах выпадает 621 мм атмосферных осадков [6]. Площадь Черновицкой области составляет 153 км<sup>2</sup>. Следовательно, за год почти 95 млн. литров воды попадает на земли Черновицкой области, в энергетическом эквиваленте, учитывая среднюю величину одной капли воды (0,96 МДж), составляет 1,8 млрд. джоулей, или 3,3 Вт/ч, что в три раза больше, чем попадает на поверхность всей Земли (1 Вт / ч.). Примем, что площадь пьезоэлектрического преобразователя кинетической энергии составляет 1 м<sup>2</sup>. В таком случае средняя энергия, которую можно получить за год с такого преобразователя в Черновицкой области, составляет 0,16 мВт/ч.

### Использование энергии электромагнитных волн

В современном мире уже никого не удивить бесконтактными зарядными устройствами, с помощью которых можно дистанционно заряжать аккумуляторные батареи тех или иных гаджетов и тому подобное. В настоящее время известны следующие основные принципы беспроводной передачи электрической энергии: индукционный (на малых расстояниях и относительно малых мощностях), резонансный (используют в бесконтактных смарт-картах и чипах RFID); направленный электромагнитный для относительно больших расстояний и мощностей (в диапазоне от микроволн и практически до видимой части спектра).

Примером использования явления индукции для передачи электроэнергии и устройств для бесконтактной подзарядки аккумулятора служат электрические зубные щетки, имплантированные электроприборы [7], встроенные модули для беспроводной зарядки мобильных устройств в ультрабуках, моноблоки, которые заряжают аккумуляторы периферийных устройств [8]. В медицине бесконтактные системы энергопередачи заряжают аккумуляторы устройств, имплантированных в тело человека в процессе хирургического вмешательства.

Увеличение расстояния устройства для передачи электроэнергии возможно за счет соответствующего увеличения мощности передатчика электрической энергии. Такой путь решения проблемы может ухудшать принципы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Для решения данной проблемы предлагаем бесконтактное устройство для передачи электроэнергии, в котором использованы резонансные цепи и выпрямитель с умножением выпрямленного напряжения [9, 10].

Устройство для передачи электроэнергии состоит из передающего и приемного блоков (рис. 3).

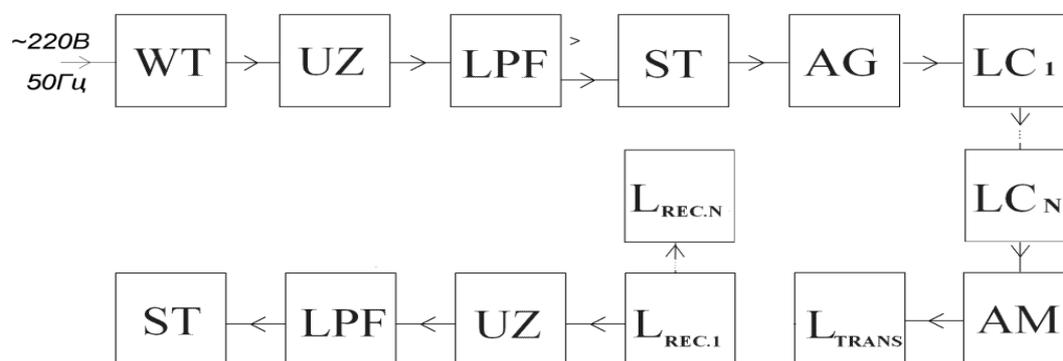


Рис. 3. Блок-схема устройства для беспроводной передачи электроэнергии

Передающий блок бесконтактного зарядного устройства содержит трансформатор (WT), выпрямитель переменного напряжения (UZ), фильтр нижних частот (LPF), стабилизатор

(ST), задающий генератор (AG), последовательный колебательный контур (LC), усилитель мощности (AM) и передающую катушку (L transmission). Питается схема передатчика от напряжения сети 220 В. В приемный блок включены приемная катушка (L receiving), выпрямитель с умножением выпрямленного напряжения (UZ), фильтр (LPF) и стабилизатор (ST). Для передачи энергии применяют индукционный способ. При данном способе передачи использован эффект электромагнитной индукции.

Колебания, сформированные генератором, далеки по своей форме от гармоничных. Учитывая относительно большую входную емкость полевого транзистора, а также руководствуясь необходимостью обеспечения работы устройства на определенной фиксированной частоте, между генератором и транзистором включен последовательный LC-контур с соответствующей резонансной частотой. Мощный полевой транзистор усиливает мощность энергетических колебаний и подает их на передающую катушку, таким образом в обмотке образуется переменный ток высокой частоты, который создает вокруг контура электромагнитное поле. За счет этого во второй катушке образуется переменное напряжение, которое выпрямляется, затем сглаживается с помощью LC-фильтра. Для стабилизации напряжения используют стабилизатор. Стабилизатор подбирают, основываясь на напряжении, которое необходимо для зарядки аккумулятора.

Экспериментальные данные свидетельствуют (рис. 4), что на выходе приемного устройства на расстоянии в 5 см можно получить значение напряжения 2,5 В с использованием выпрямителя с множителем, коэффициент которого 5, напряжение – 5 В. При использовании умножителя с коэффициентом 10 напряжение – 7 В.

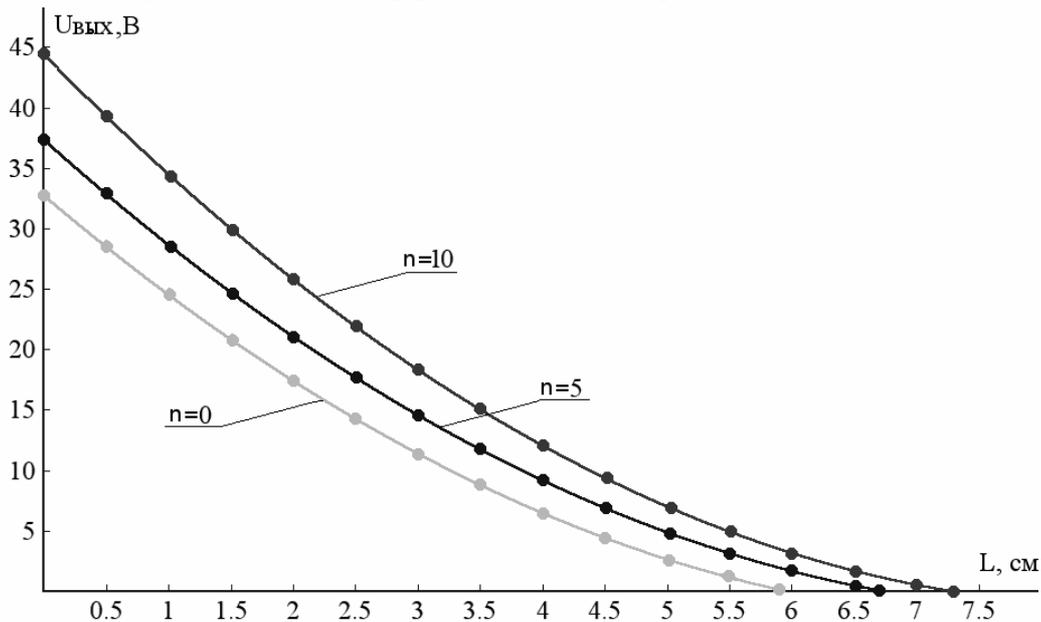


Рис. 4. Эффективность использования умножителя напряжения

В нашем случае использован несимметричный умножитель напряжения, количество каскадов которого обеспечивает необходимое напряжение на выходе [11]:

$$U_{\text{вых}} = 2nU_{\text{вх}} \quad (1)$$

Более точные расчеты можно получить, воспользовавшись формулой

$$U_{\text{вых}} = 2nU_{\text{вх}} - (I_n * (4n^3 + 3n^2 - n) / (6fC)), \quad (2)$$

где  $I_n$  – ток нагрузки;  $n$  – кратность умножения;  $f$  – частота входного напряжения;  $C$  – ёмкость конденсаторов.

### Использование световой энергии Солнца и искусственных источников света

Большинство радиотехнических устройств может подзаряжать свои аккумуляторы с помощью полупроводниковых солнечных элементов, которые превращают солнечную энергию в электрическую, однако в ночное время из-за отсутствия Солнца использование такого типа подзарядки невозможно, но существуют устройства [12], которые излучают искусственный свет, например, лампы, светодиоды. Теоретически излучаемый искусственный свет можно превращать в электрическую энергию.

Экспериментальное исследование показало, что КПД по мощности преобразования искусственной энергии света (в нашем случае LED с паспортной мощностью 10 Вт) в электрическую не превышал 0,002%. Количество полупроводниковых солнечных элементов ограничено только площадью угла раскрытия излучаемого света от искусственных источников света.

Увеличение КПД от источников искусственного света возможно при использовании современных полупроводниковых солнечных элементов, в которых КПД составляет до 31% [13], или с помощью расширения площади кристалла полупроводникового солнечного элемента.

### Вывод

В данной статье были рассмотрены экспериментальные способы обновления энергии источников автономного питания РЭП. Наиболее пригодным из рассмотренных к использованию оказался способ с использованием энергии Солнца вместе с искусственными источниками света. Однако в условиях отсутствия солнца или искусственного освещения возникает потребность в поиске другого способа для обеспечения автономного питания. Таким способом может быть реализованная передача электромагнитной энергии или употребленная кинетическая энергия капель дождя. Последнее в свою очередь является дополнением к солнечным элементам. Применение устройства для преобразования кинетической энергии капель дождя наиболее эффективно в регионах, где часто выпадают дожди (горы, тропики). Возможные места использования прибора в населенной местности: на крышах домов, под водосточными трубами и тому подобное. В отличие от сжигания полезных ископаемых (уголь, нефть, газ), энергия капель дождя практически неисчерпаема.

Внедрение технологии передачи электроэнергии на расстояние с помощью электромагнитных волн и интегрирования их в современные устройства уменьшит потребность в проводных системах, существенно повысит надежность использования и безопасность устройств с автономным питанием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касич А. О. Альтернативна енергетика: світовий та вітчизняний досвід / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко, П. С. Мельничук // Наукові записки Національного університету “Острозька академія”, серія “Економіка”. – Острог, 2014. – № 23. – С. 43 – 47.
2. Harvesting raindrop energy: theory [Електронний ресурс] / Romain Guigon, Jean-Jacques Chaillout, Thomas Jager, Ghislain Despesse // Smart Materials and Structures. – 2008. Vol. 17, №1. – Режим доступу до журн. : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/17/01/015038/pdf>.
3. Harvesting raindrop energy: experimental study [Електронний ресурс] / Romain Guigon, Jean-Jacques Chaillout, Thomas Jager, Ghislain Despesse // Smart Materials and Structures. – 2008. Vol. 17, № 1. – Режим доступу до журн. : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/17/01/015039/pdf>.
4. Браїловський В. В. Використання енергії дощу / В. В. Браїловський, І. В. Пислар // Сборник публикаций Научно-информационного центра “Знание” по материалам IV международной заочной научно-практической Наукові праці ВНТУ, 2017, № 2

конференции: “Развитие науки в XXI веке”, Харьков. – 2015. – С. 12 – 15.

5. Пат. 104441 Україна, МПК Н 02 N 2/18, H01L 41/113. П'єзоелектричний перетворювач кінетичної енергії крапель дощу / Браїловський В. В., Пислар І. В., Рождественська М. Г. ; заявник та патентовласник Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича. – № у 2015 08490 ; заявл. 31.08.2015, опуб. 25.01.2016, Бюл. № 2.

6. Климат Черновцов, Pogodaiklimat.ru [Електронний ресурс] / «Погода и Климат». – Режим доступу : – <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/33658.htm>.

7. Пат. 31659 Україна, МПК А 61 N 1/362, Н 04 В 10/10. Пристрій для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електростимуляторів / Пентегов І. В., Волков І. В., Приступа А. Л., Шейковський Д. О., Стемковський Є. П.; заявник та патентовласник Чернігівський державний технологічний університет. – № а 200602349 ; заявл. 03.03.2006; опубл. 25.04.2008, Бюл. № 8.

8. Беспроводные зарядные устройства: о новинках, принципах работы и хороших новостях [Електронний ресурс] / Хабрахабр, Компания Intel // Режим доступу : <http://habrahabr.ru/company/intel/blog/147970/>.

9. Браїловський В. В. Безконтактний зарядний пристрій / В. В. Браїловський, І. В. Пислар, О. В. Типа // Тези. Доп. Наукової-технічної конф. “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, Одеса. – 2014. – № 13. – С. 145.

10. Пат. 95963 Україна МПК (2015.01) Н 02 J 17/00. Пристрій для бездротової передачі електроенергії / Браїловський В. В., Пислар І. В., Рождественська М. Г.; заявник та патентовласник Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича. – № у 2014 08701 ; заявл. 31.07.2014, опуб. 12.01.2015, Бюл. №1.

11. Cockroft-Walton Optimun Design guide v.2.0, Blazelabs.com [Електронний ресурс] / Blazes labs research. - Режим доступу : <http://www.blazelabs.com/e-exp15.asp>.

12. Браїловський В. В. Завадостійка інформаційна система на світлових променях / В. В. Браїловський, І. В. Пислар, М. Г. Рождественська // Міжнародний науково-технічний журнал “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, Хмельницький. – 2013. – С. 157 – 160.

13. Solar Cell Efficiency Tables / М. Е. Green, К. Emery, D. L. King [та інш.] // Progress in photovoltaics: research and applications. – 2002. – №10 (355). – Р. 355 – 360.

**Пислар Иван Васильевич** – аспірант кафедри радіотехніки и інформаційної безпеки, [i.pyslar@chnu.edu.ua](mailto:i.pyslar@chnu.edu.ua).

Черновецький національний університет імені Юрія Федьковича.