

Микромощно токозахранване на IoT сензори от околната среда



Димитър Николов

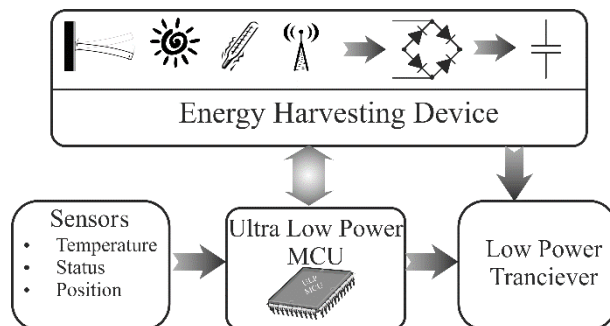
Факултет Електронна техника и технологии

Технически университет София

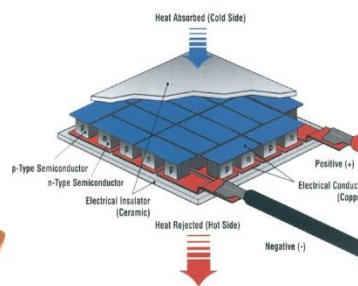
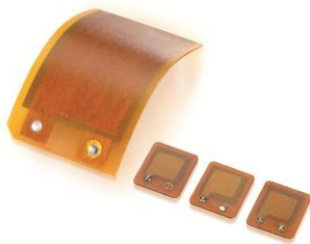
Съдържание



Таксономия на IoT сензори



Структура на микромощно токозахранване

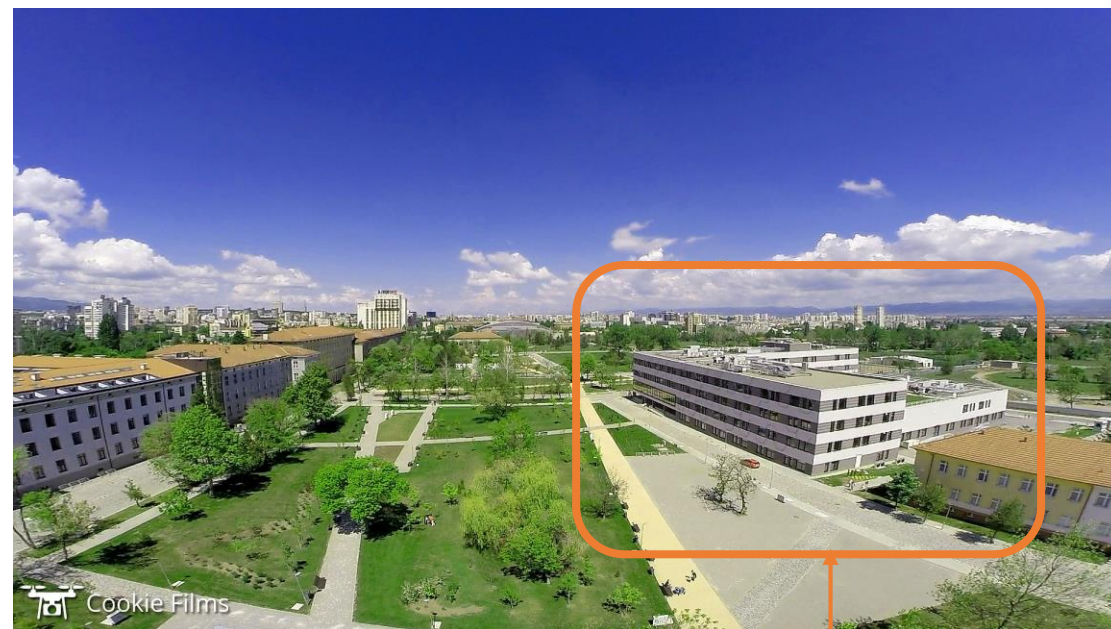


Фотоволтаичен преобразувател
Пиезоелектрични преобразуватели
Пелтие елемент

За мен

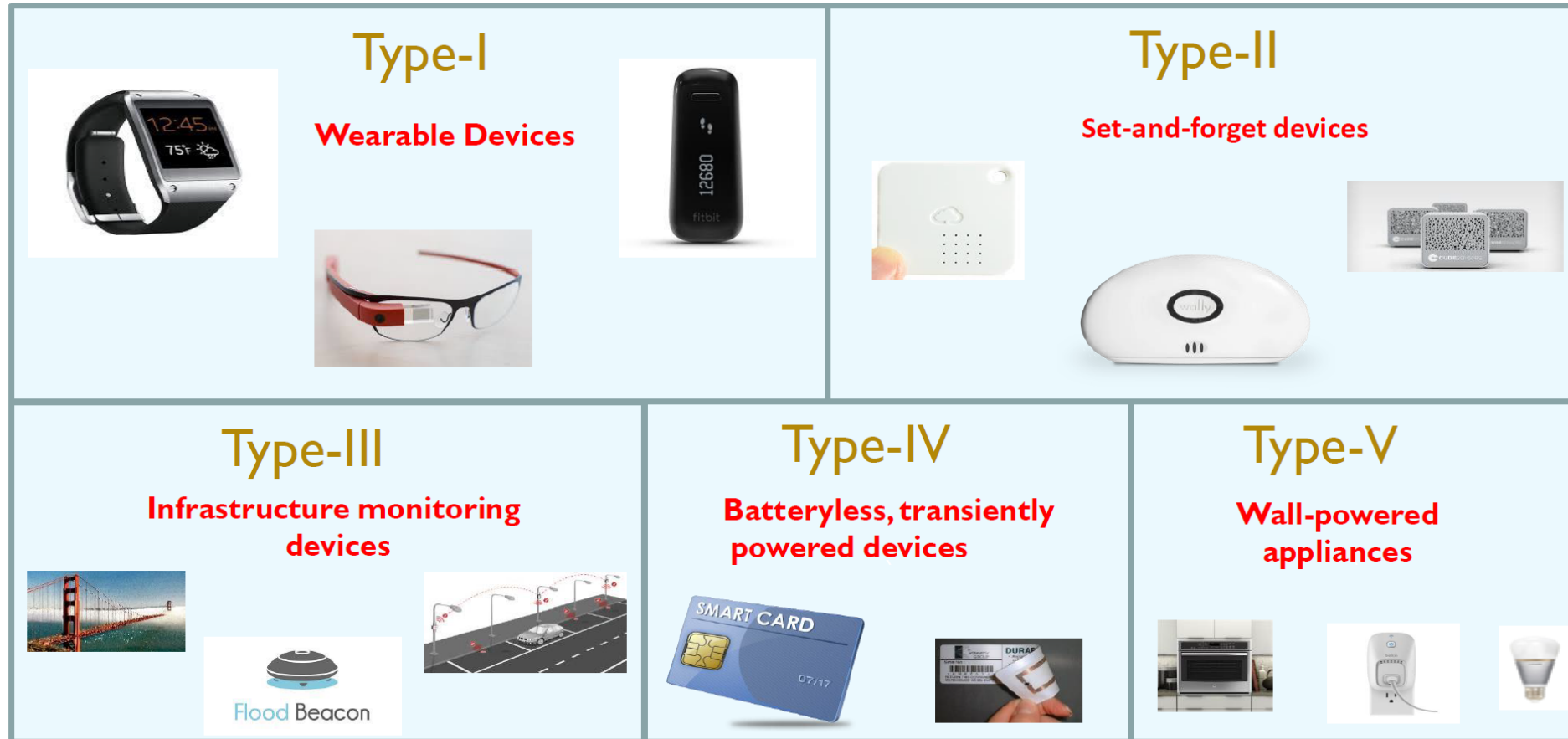


Катедра „Електронна техника“
Факултет Електронна техника и технологии
Технически университет София



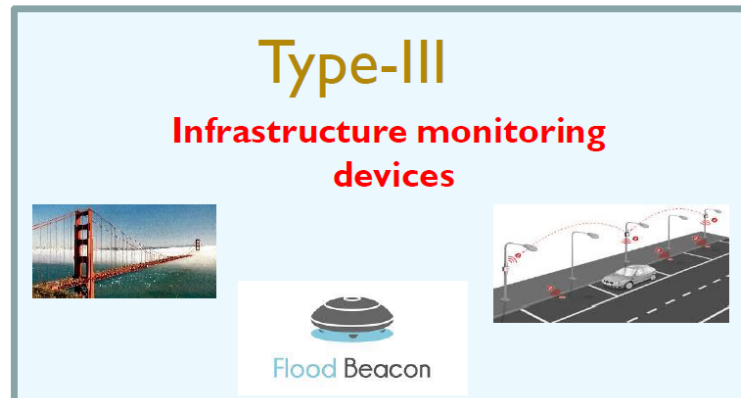
Лабратория „МиНоЛаб“
Сдружение за научно-изследователска
и развойна дейност, София Тех Парк

Таксономия на IoT устройства (1)



Източник: Vijay Raghunathan, Purdue University

Таксономия на IoT устройства (2)



Източник: Vijay Raghunathan, Purdue University

Защо имаме нужда от микромощно токозахранване?

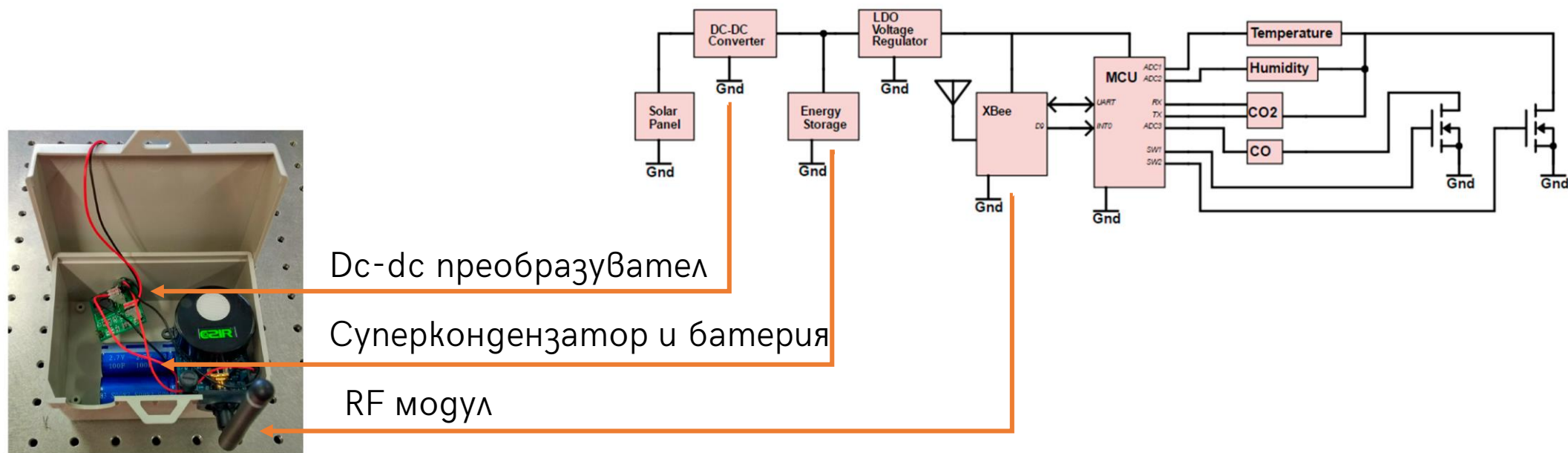


Безжична комуникация
Батерийно захранване



Комуникация чрез проводници
Захранване чрез проводници

Примерна консумация на автономен сензор



Коефициент на запълване: 1.25 % или активен период 15 s за 1200 s

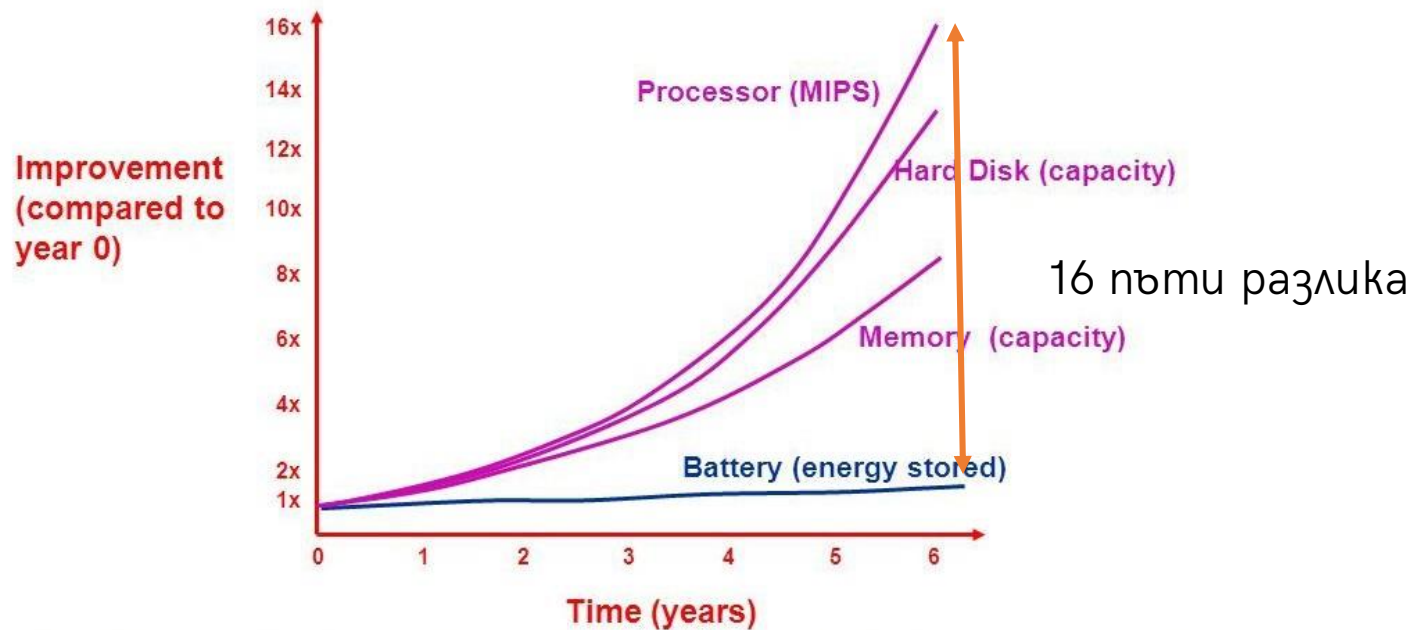
Средна мощност: ~ 11 mWh

Taridan TL-5930/F, 3.6 V, 19 Ah, ~ € 16



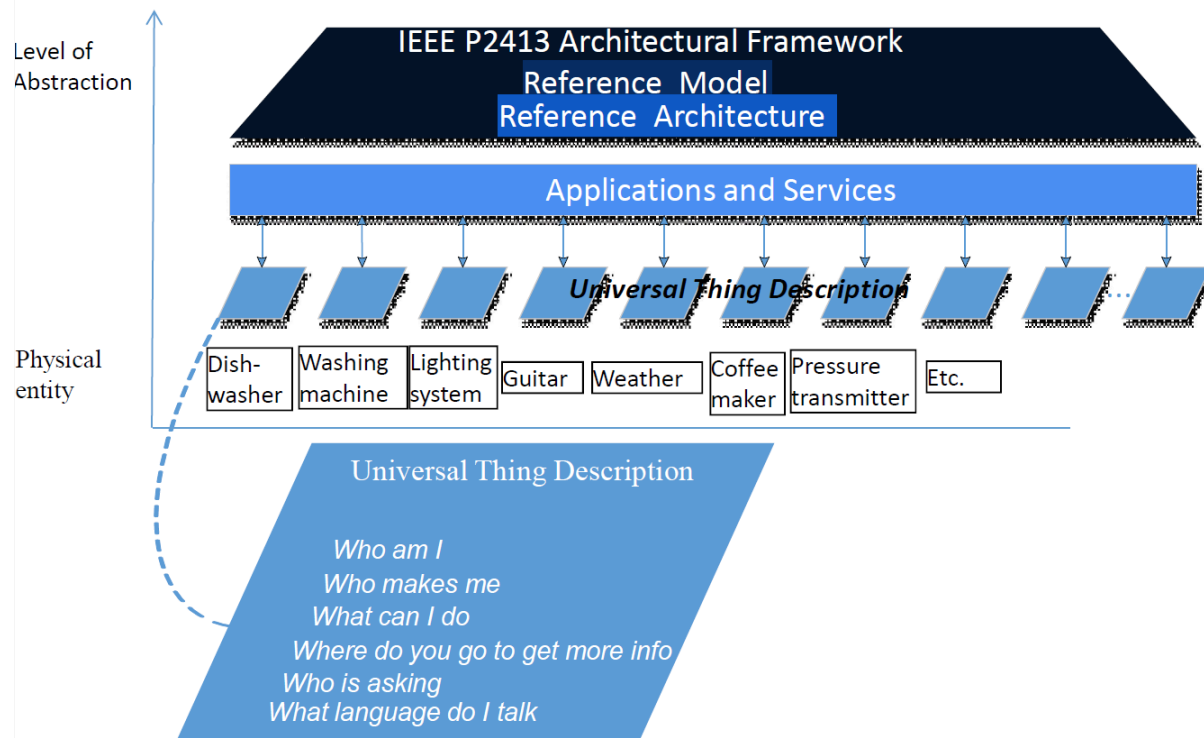
Време до подмяна: ~ 285 дни (идеални у-вия), ~ 130 дни (реални у-вия)

Закона на Мур и развитието на батериите

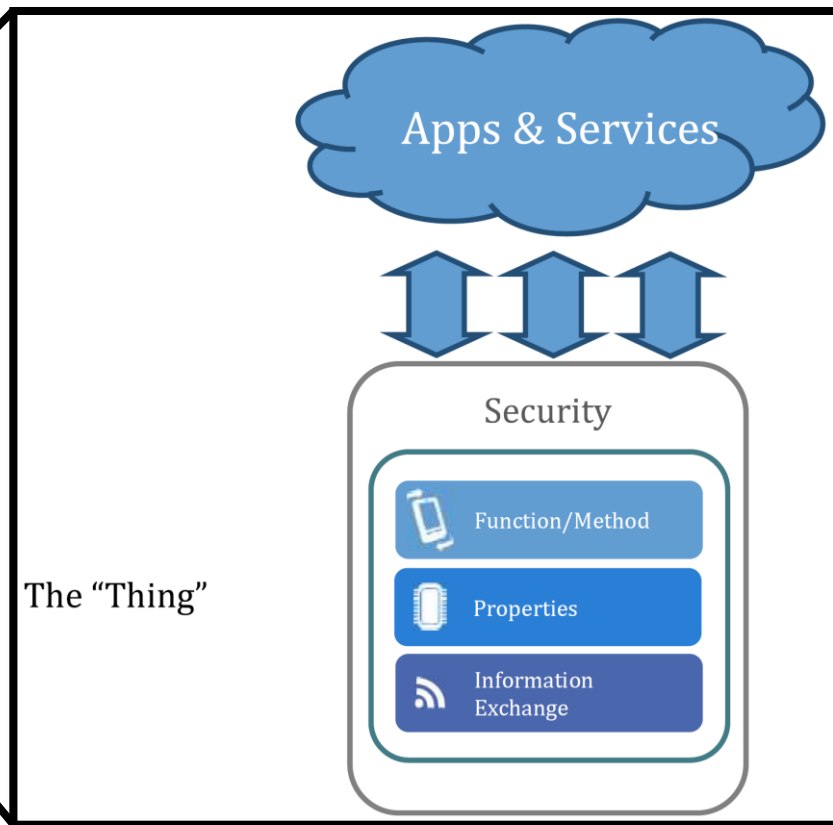


Изискванията към консумацията ще се увеличават

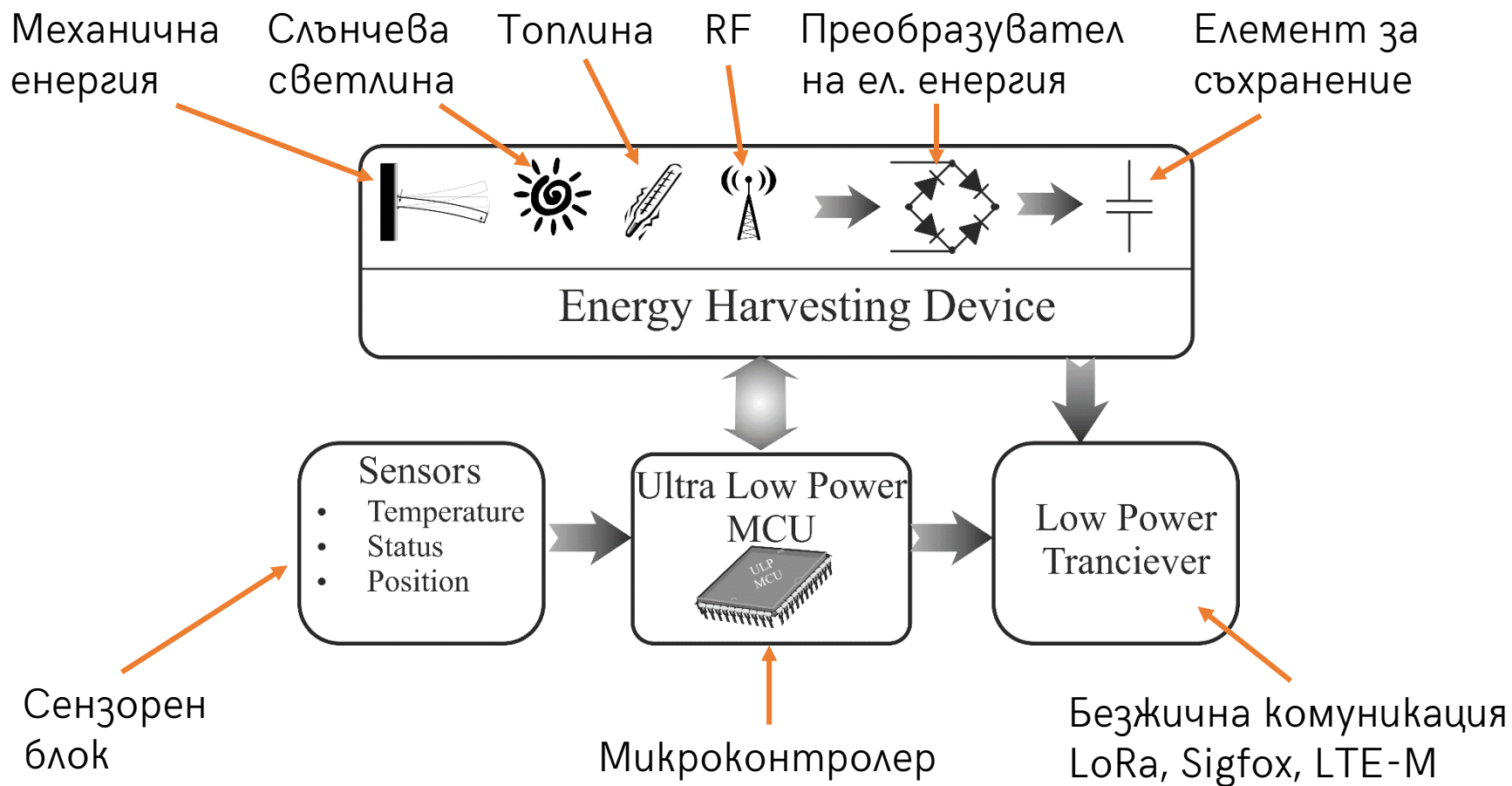
IEEE P2413 Levels of abstractions



Things



Архитектура на микромощно токозахранване



Източници на енергия и физични феномени за преобразуването ѝ

	Фото- волта- ичен	Пиезо- елект- ричен	Елект- ромаг- нитен	Елект- роста- тичен	Термо- електри- чески	Елект- рохи- мичен
Светлина	✓	—	—	—	—	—
Вибрации	—	✓	✓	✓	—	—
Движение	—	✓	✓	—	—	—
Топлина	—	—	—	—	✓	—
Звук	—	✓	✓	✓	—	—
Биохимични	—	—	—	—	—	✓
Биомеханични	—	✓	✓	—	—	—

Характеристики на видовете енергия

Източник	Плътност на мощността	Променлива природа
<i>Движение и вибрации</i>		
Човешко тяло	$4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Да
Промисленост	$100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Да
<i>Температурна разлика</i>		
Човешко тяло	$30 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Не
Промисленост	$1\text{-}10 \text{ mW}/\text{cm}^2$	Не
<i>Светлина</i>		
В помещение	$10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Да
На открито	$10\text{-}100 \text{ mW}/\text{cm}^2$	Да
<i>Електромагнитни излъчвания</i>		
GSM	$0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Да
WiFi	$0.01 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	Да

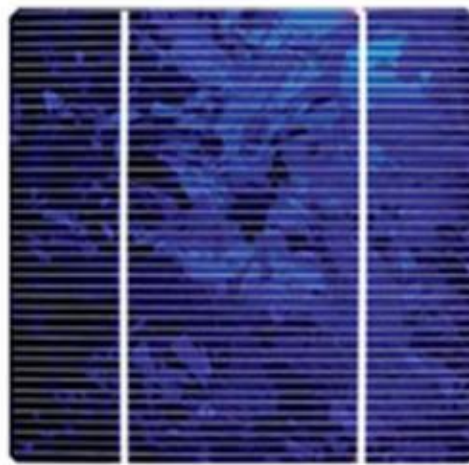
Фотоволтаични преобразуватели (1)



Моно

КПД: ~16%

Чувствителни към пряка
слънчева светлина



Poly

КПД: ~14%

Чувствителни към пряка
слънчева светлина



Thin Film

КПД: ~7%

Чувствителни към разсеяна светлина
2% деградация на година

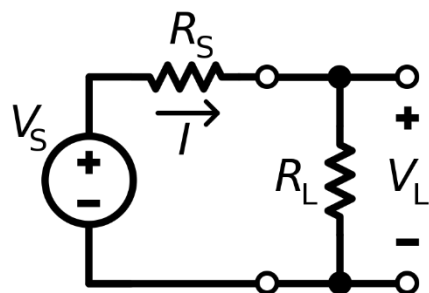
Фотоволтаични преобразуватели (2)

$$I = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{\gamma kT}} - 1 \right)$$

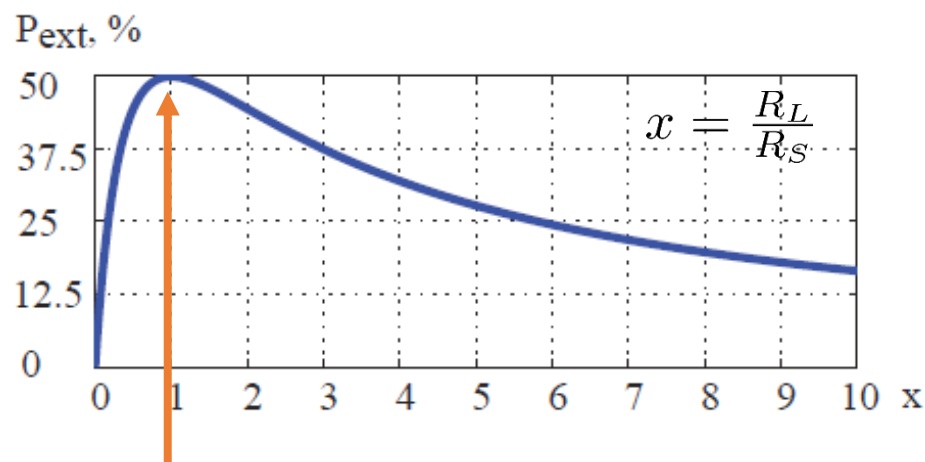
I - изходен ток, I_{ph} - фототок, I_o - обратен ток

$$I = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{\gamma n kT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

I - изходен ток, I_{ph} - фототок, I_o - обратен ток

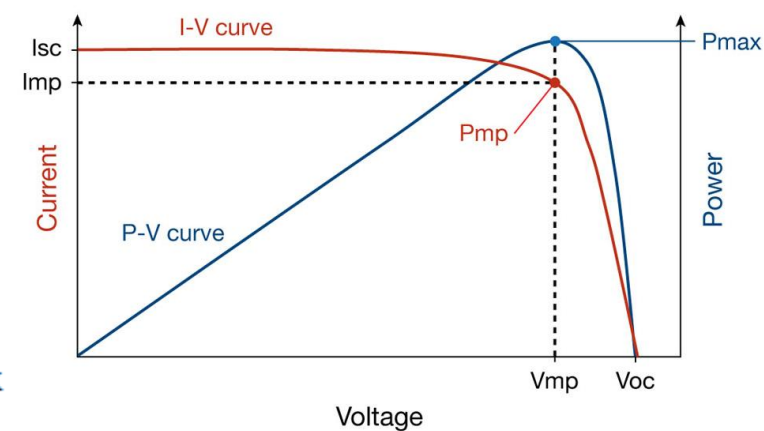
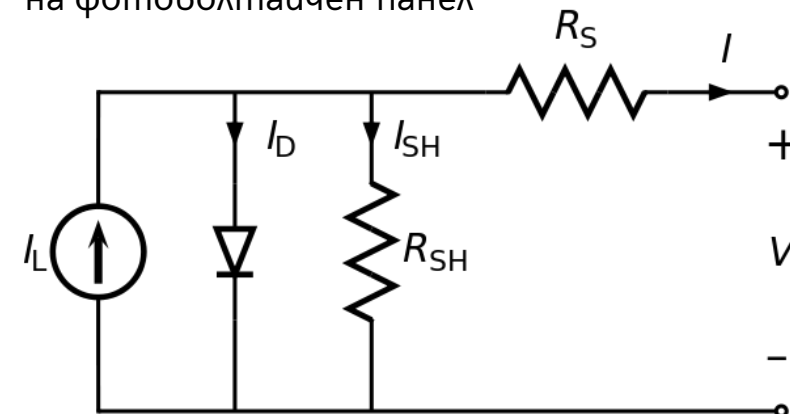


Еквивалентна схема
предаване на мощност



Предаване на максимална мощност

Еквивалентна схема
на фотоволтаичен панел



Източник: Solmetric

Фотоволтаични преобразуватели (2)

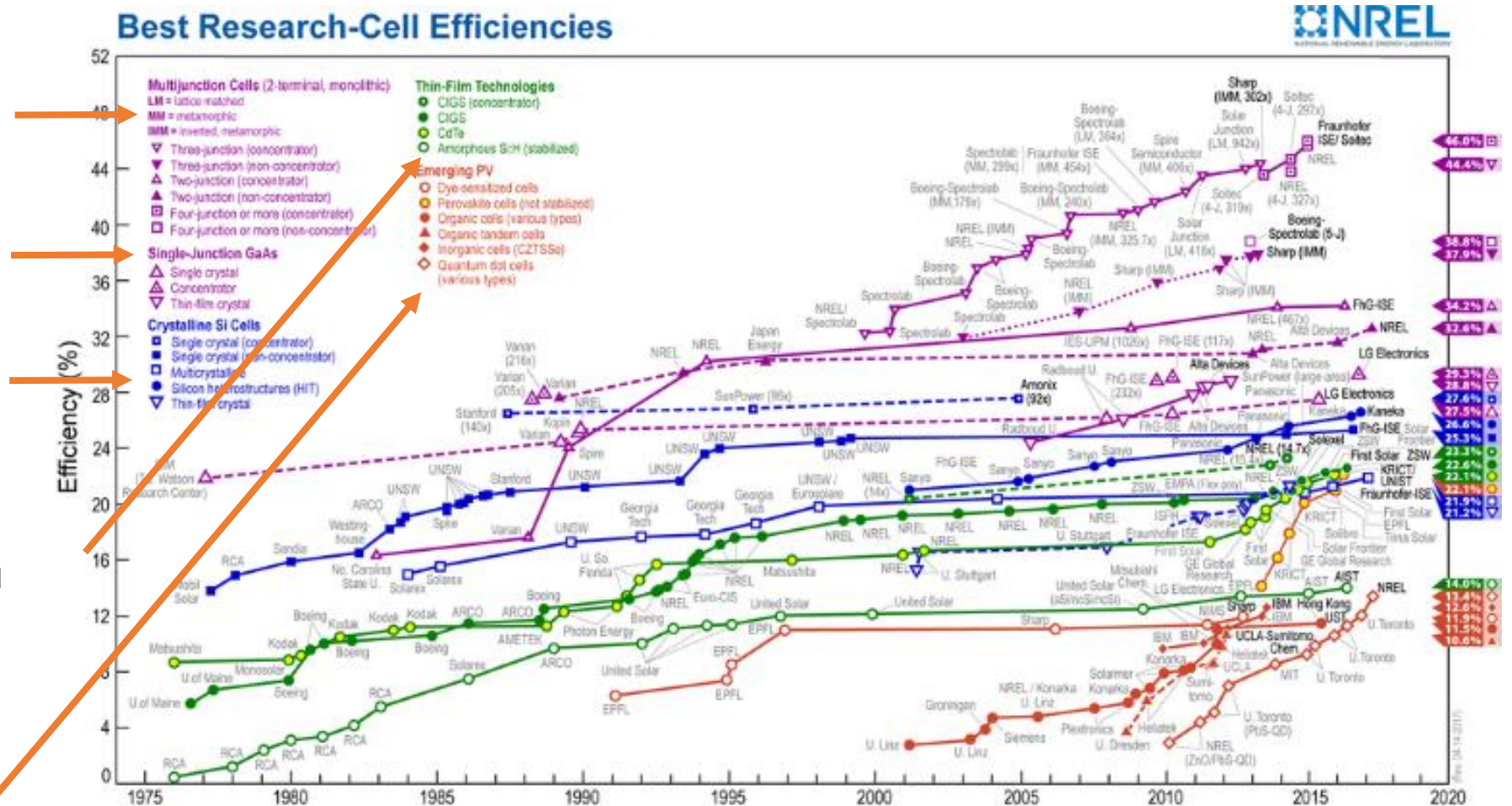
Многoprеходни
фотолтаични панели

Еднопреходни GaAs
фотолтаични панели

Монокристални Si
фотолтаични панели

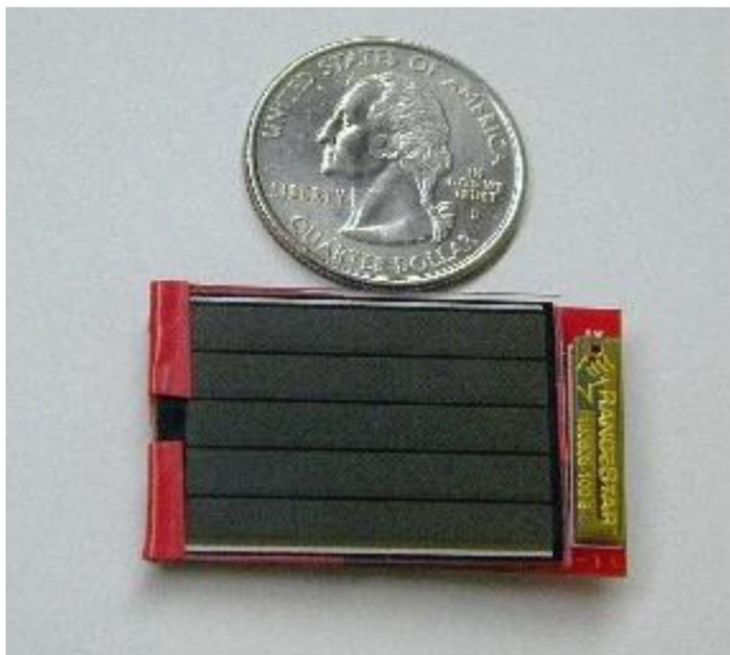
Тънкослойни
фотолтаични панели

Нови разработки
фотолтаични панели



Източник: NREL

Фотоволтаични преобразуватели (3)



На открито ~ 15 mW/cm²

На закрито

Разстояние	Мощност, mW/cm ²
30	236
45	111
Светлина в офис	7.2

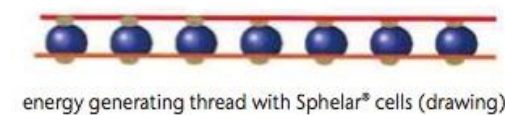
Spheral Dom →



Sphelar Textile



Sphelar® Textile

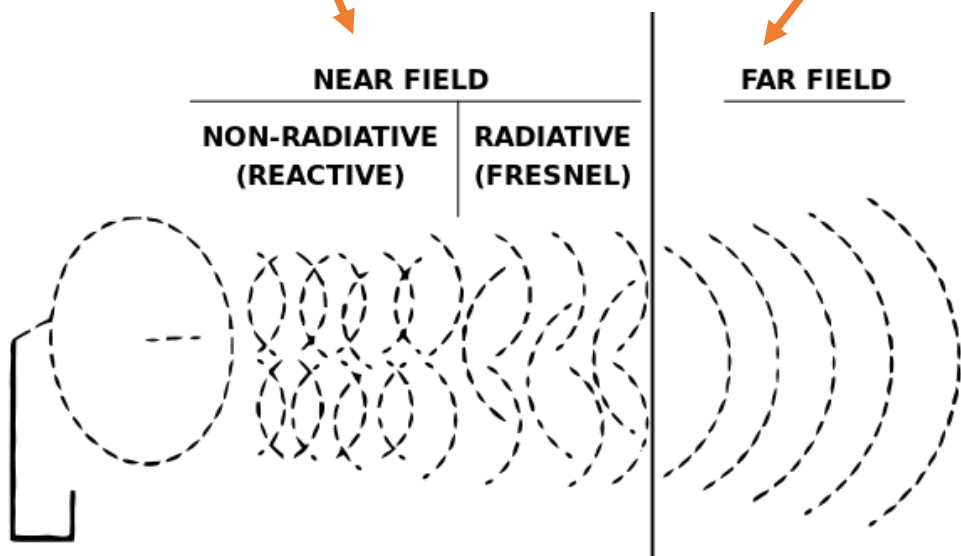


Sphelar® cells

Енергия от електромагнитни излъчвания

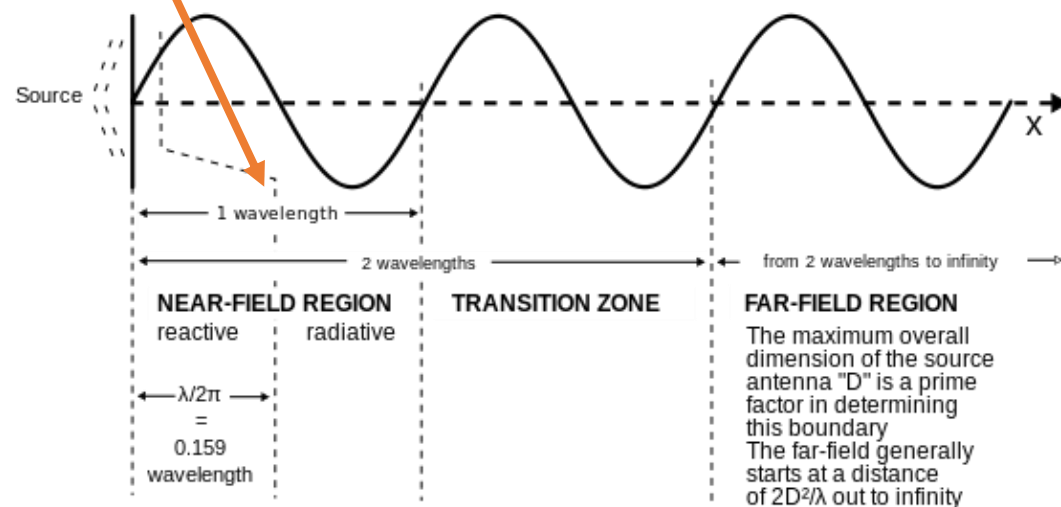
$$intensity \propto \frac{1}{distance^4}$$

$$intensity \propto \frac{1}{distance^2}$$



$$\lambda = \frac{v}{c} = \frac{speed\ of\ light}{frequency}$$

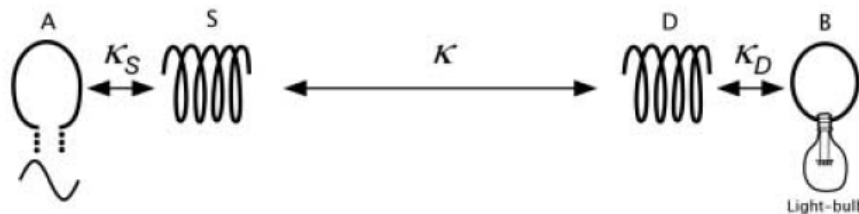
Честота	Дължина
5.8 GHz	5.17 cm
2.4 GHz	12.5 cm
900 MHz	32.7 cm
433 MHz	69.3 cm



Енергия от електромагнитни излъчвания близка зона

Прехвърляне на 60W мощност на дистанция 2м,
40% ефективност на прехвърлената енергия

Fig. 1. Schematic of the experimental setup. A is a single copper loop of radius 25 cm that is part of the driving circuit, which outputs a sine wave with frequency 9.9 MHz. S and D are respectively the source and device coils referred to in the text. B is a loop of wire attached to the load (light bulb). The various κ s represent direct couplings between the objects indicated by the arrows. The angle between coil D and the loop A is adjusted to ensure that their direct coupling is zero. Coils S and D are aligned coaxially. The direct couplings between B and A and between B and S are negligible.



<http://witricity.com/company/>

<http://www.mit.edu/~soljacic/marin.html>

Източник: Kurs, et. al., Science, 2007

Google Contact Lens
Леца с въграден сензор за глюкоза,
~92% ефективност на дистанция 2cm

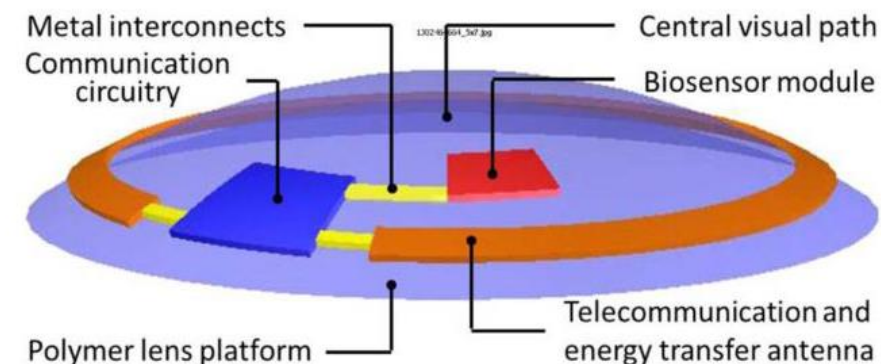
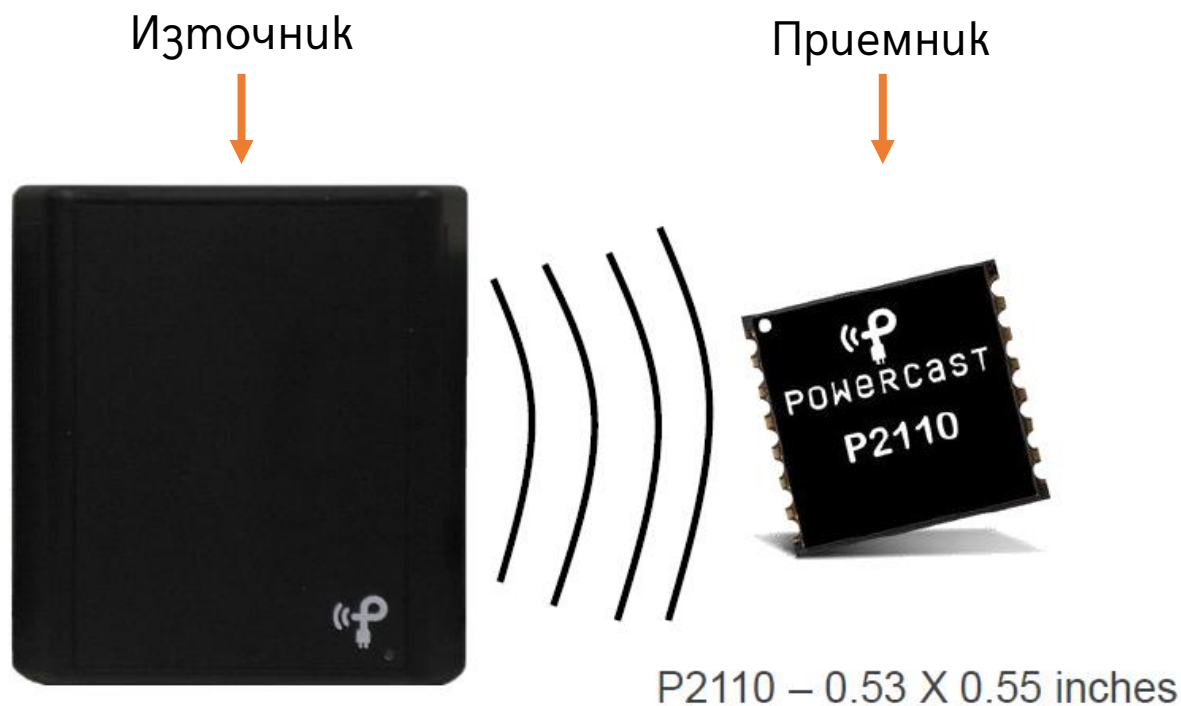


Fig. 1. Conceptual diagram of an active contact-lens system for wireless health monitoring.

https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Contact_Lens

Източник: Liao, et. al. IEEE Journal of Solid State Circuits, 2012

Енергия от електромагнитни излъчвания далечна зона



PowerCast – компания за микромощни токозахранвания от околната среда
от μW до mW – за RFID, етикети и др.

$$P_r = G_t G_r P_0 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$f = 915 \text{ MHz}$

$P_0 * G_t = 1 \text{ watt}$

$G_r = 6.0 \text{ dBi}$ (default value)

$R = 5 \text{ meters}$

– $P_r = 108 \mu\text{W}$

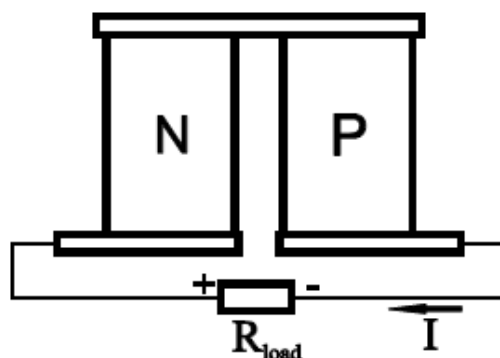
28 μW after conversion to DC

<http://www.powercastco.com/power-calculator/>

Енергия от температурна разлика

Термoeлектричен генератор

Ефекта на Зеебек,
Ефекта на Пелтие,
Ефекта на Томпсон,
Закона на Джаул-Ленц и
Томплинна конвекция



абсорбира топлина



отдава топлина

~8% ефективност

~8% ефективност

$$\pi = \alpha_n T$$

π - електрически потенциал на изводите на дъва материала

$$\alpha = \alpha_n N$$

α - коефициент на Зеебек

$$U = \alpha(T_A - T_E)$$

U - напрежение на изводите на термогенератора

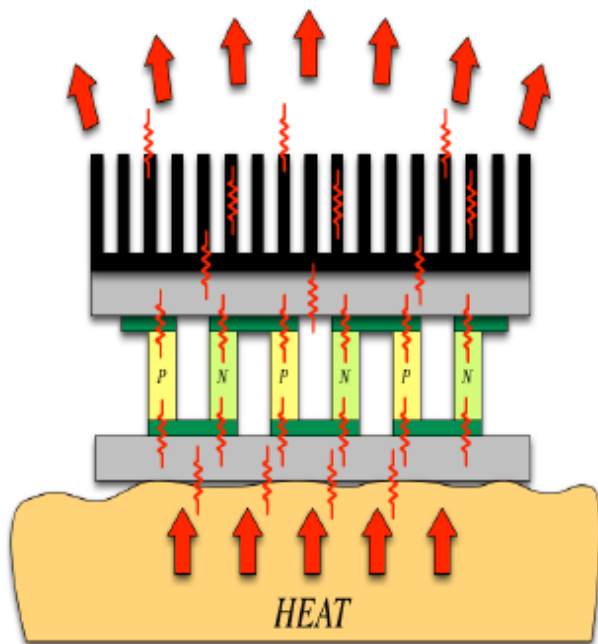
$$I = \frac{\alpha(T_A - T_E)}{R_{TEG} + R_L}$$

I - изходен ток

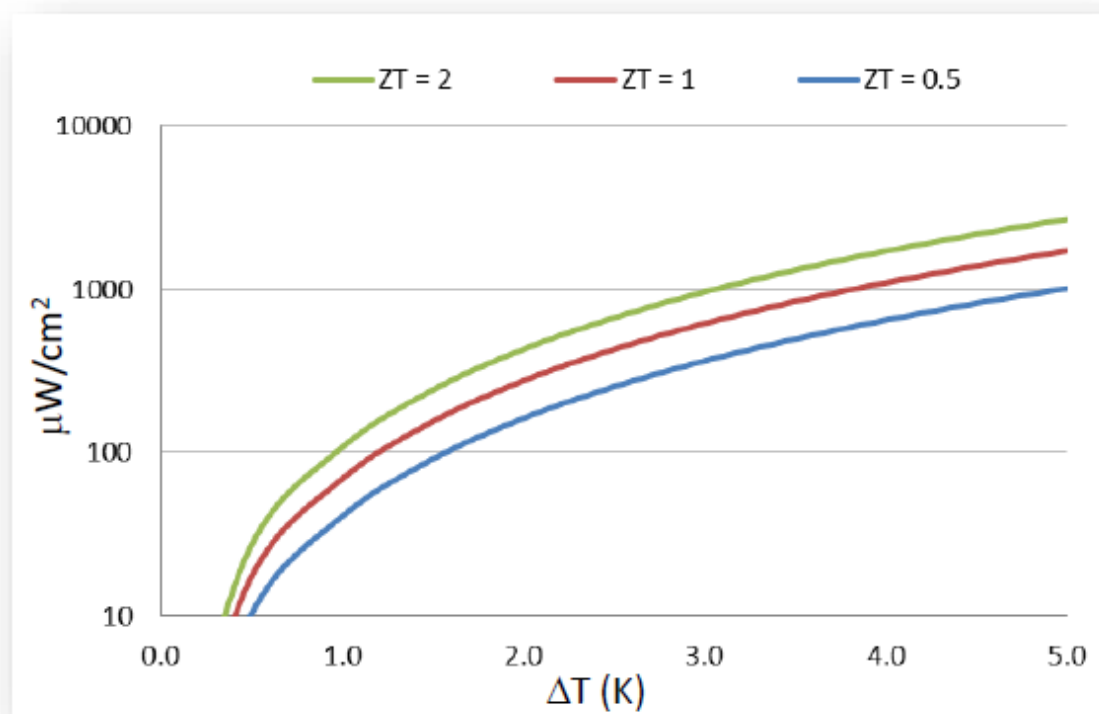
$$Q_A = \alpha_A I T_A$$

$$Q_E = \alpha_E I T_E$$

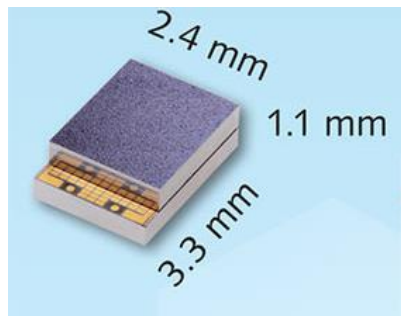
Енергия от температурна разлика



Източник: Mehmet Oztuk

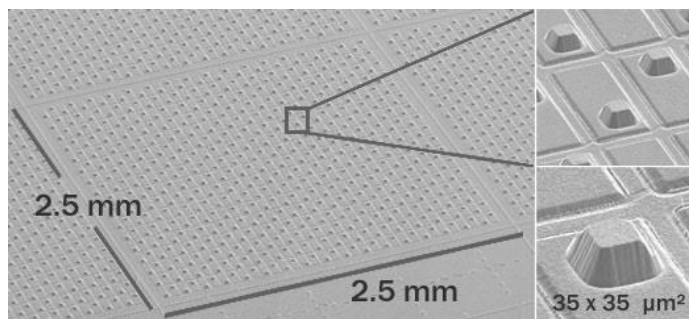
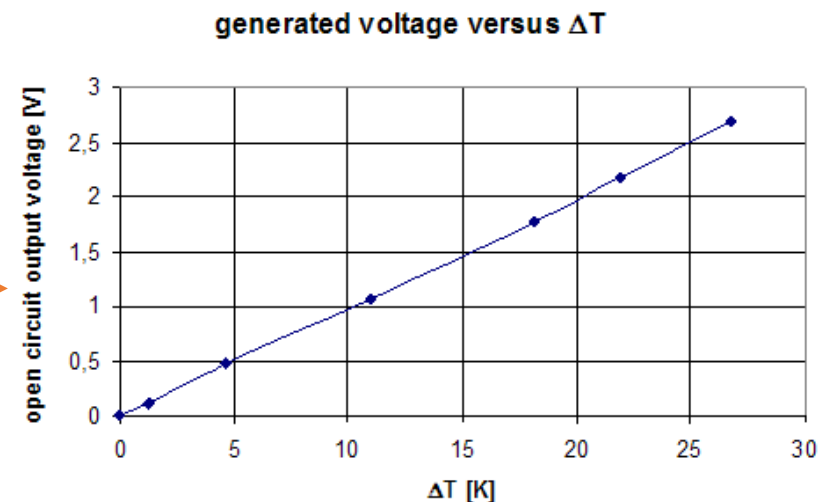


Енергия от температурна разлика



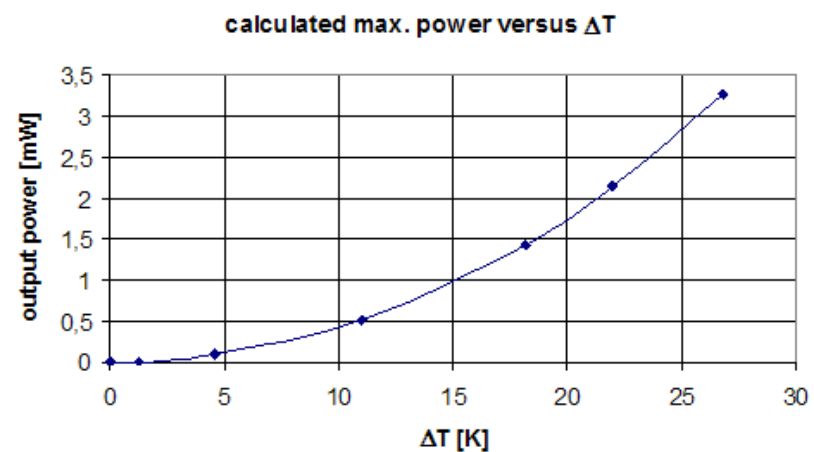
Micropelt D602
Термоелектричен генератор

Micropelt D602
Изходно напрежение на празен ход



Micropelt D602
Вътрешна структура

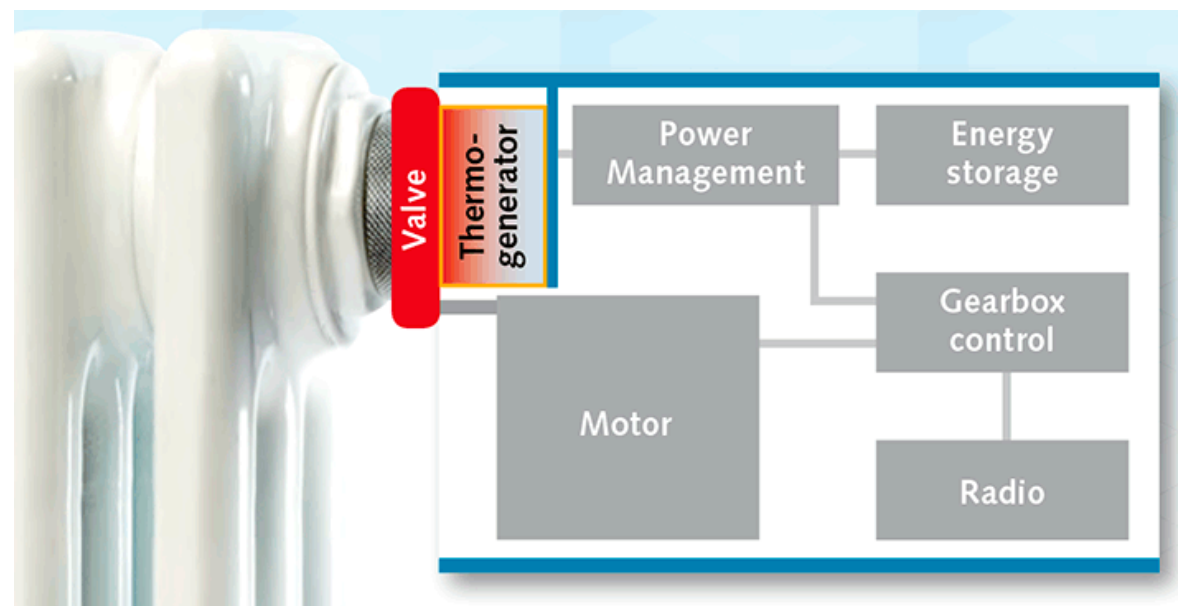
Micropelt D602
Изходна мощност



Енергия от температурна разлика



Citizen Eco-Drive Thermo
 $13.8 \mu\text{W}$ при ΔT от 1°C
Размер $0.7 \text{ cm} \times 0.7 \text{ cm}$



Micropelt Intelligent Power Valve EnOcean
Непрекъсната работа през цялата година
Събира енергия над 20°C

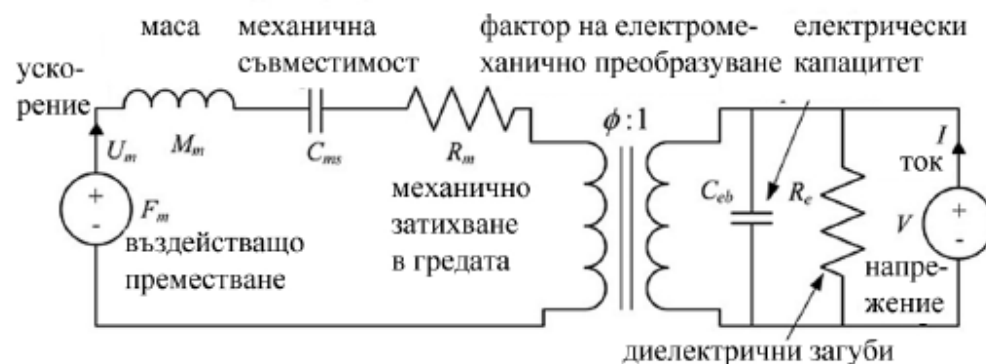
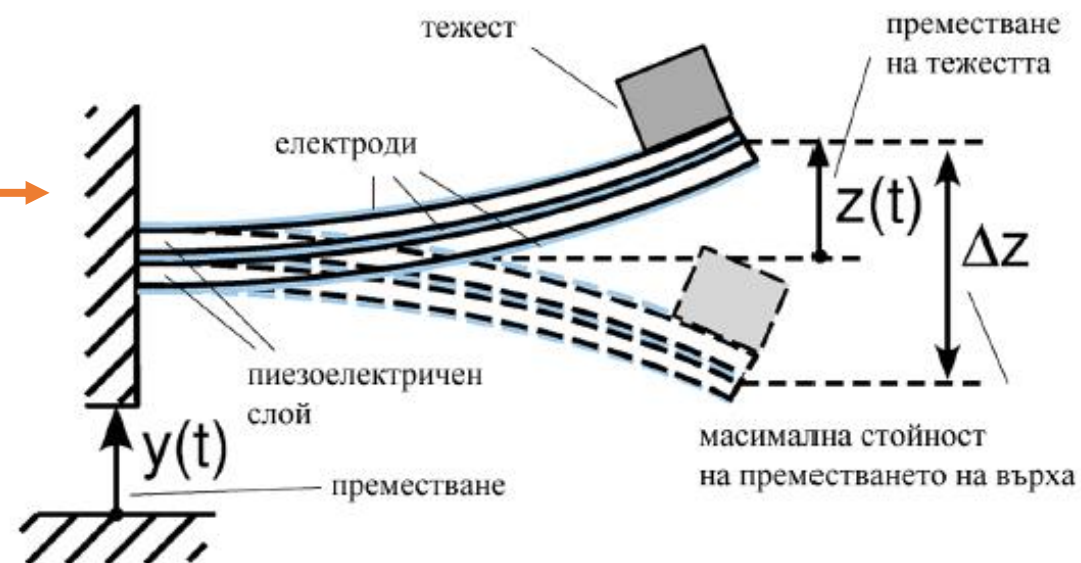
Енергия от вибрации чрез пиезоелектричен ефект

Структура на греда с пиезоелектричен материал

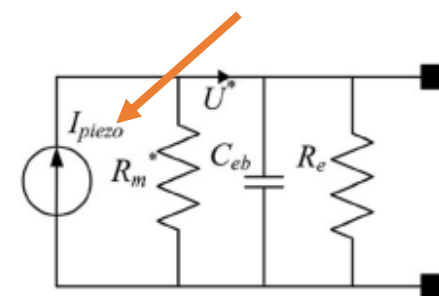
Модели с разпределени параметри

Таблица с типични стойности

Параметър	Стойност
Честота на възприеманите вибрации	0.5-400 Hz
Изходно напрежение на празен ход	3-250 V
Изходна мощност	0-35 mW
Капацитет на диелектрика при 100 Hz	9-150 nF
Оптимална стойност на товара	10-900 kΩ
Амплитуда преместване на върха	0.05-4.6 mm



$$I_{piezo} = \frac{F_m}{R_m}$$

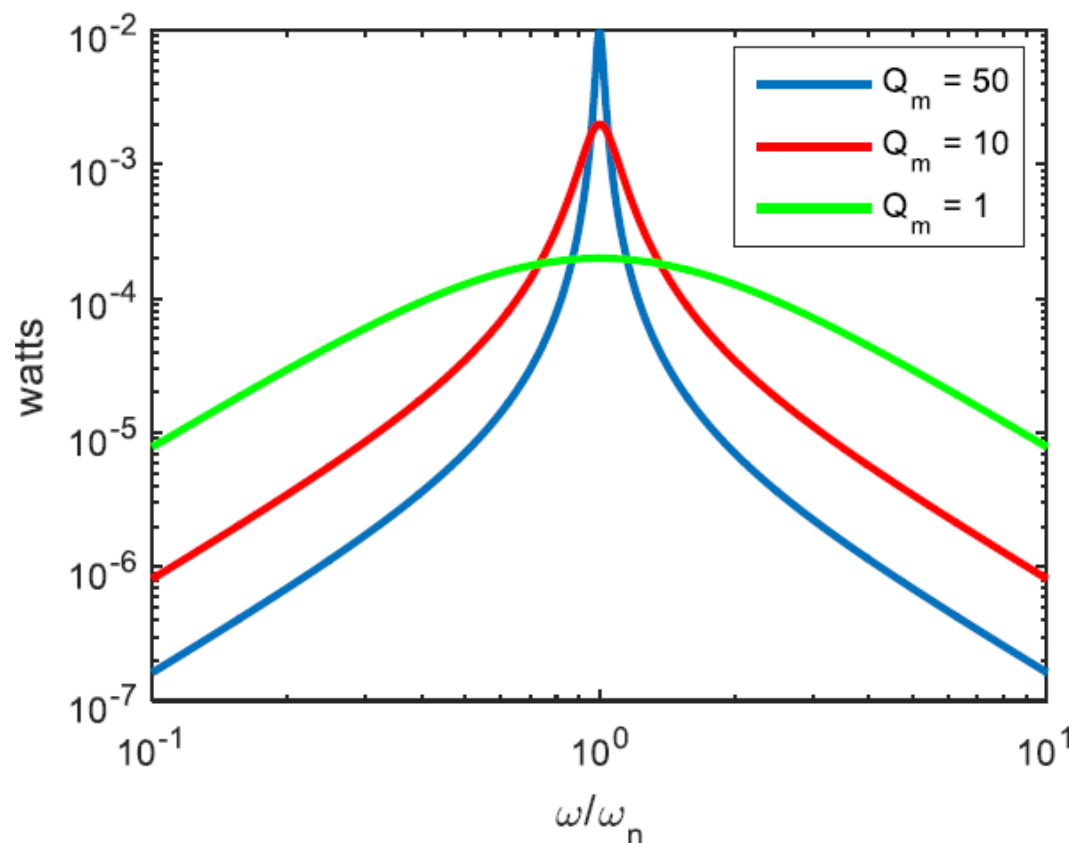


Енергия от вибрации чрез пиезоелектричен ефект: резонанс

Енергията е честотата на резонанса е пряко зависима от качествения фактор Q .

При висок качествен фактор, работната честотната лента се намалява

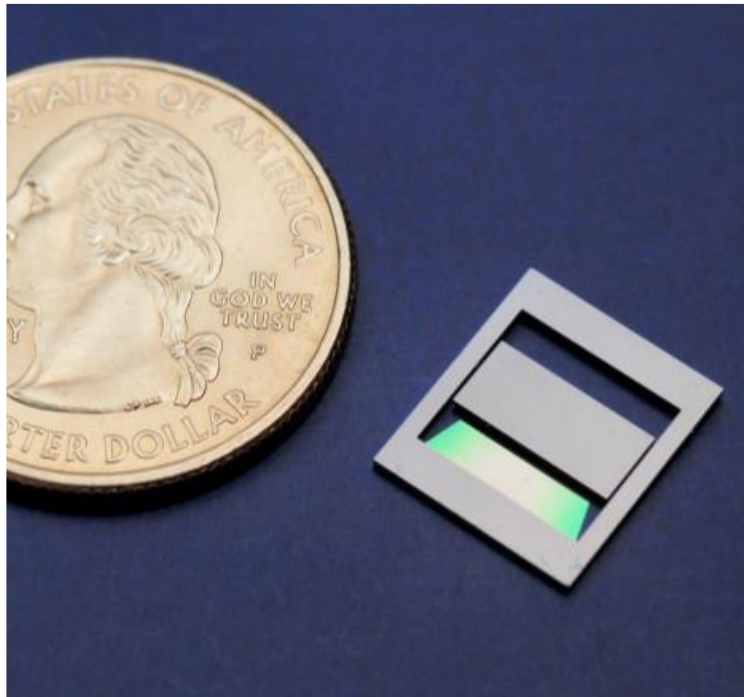
Това е основен проблем при пиезоелектричните преобразуватели



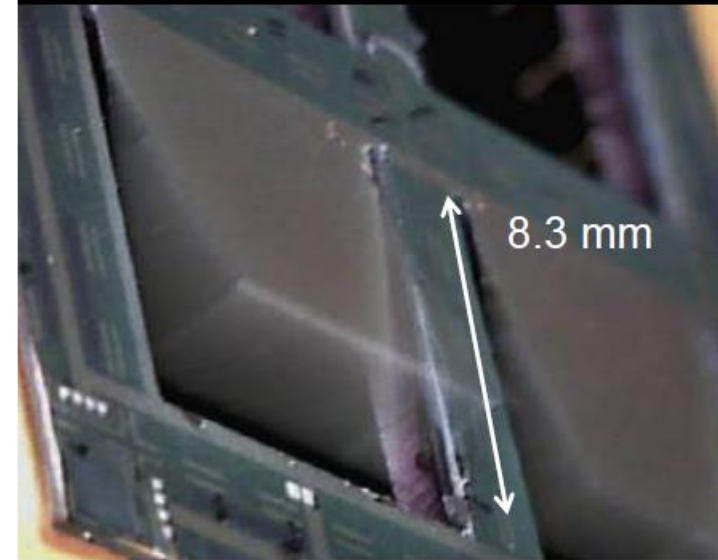
$$A = 1 \text{ m/s}^2$$
$$M = 1 \text{ kg}$$
$$\omega_n = 2\pi 100 \text{ rad/s}$$

Източник: Beeby et. al., JEH, 2010

Енергия от вибрации чрез пиезоелектричен ефект



Andosca et al., Sensors and Actuators A, 178 (2012) 76

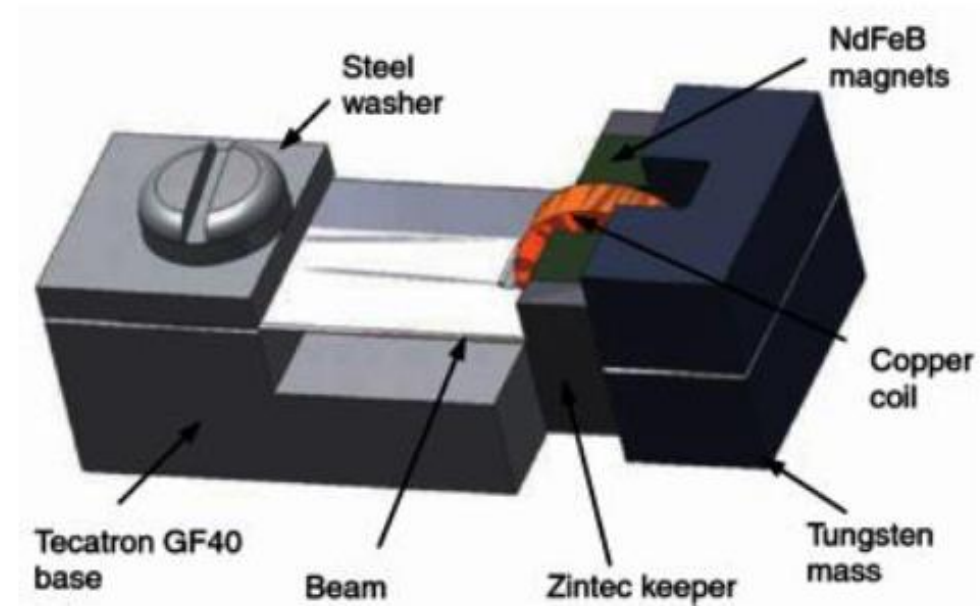


<https://www.microgensystems.com/>

Енергия от вибрации електромагнитен ефект



Perpetuum
Лондон, South West Trains



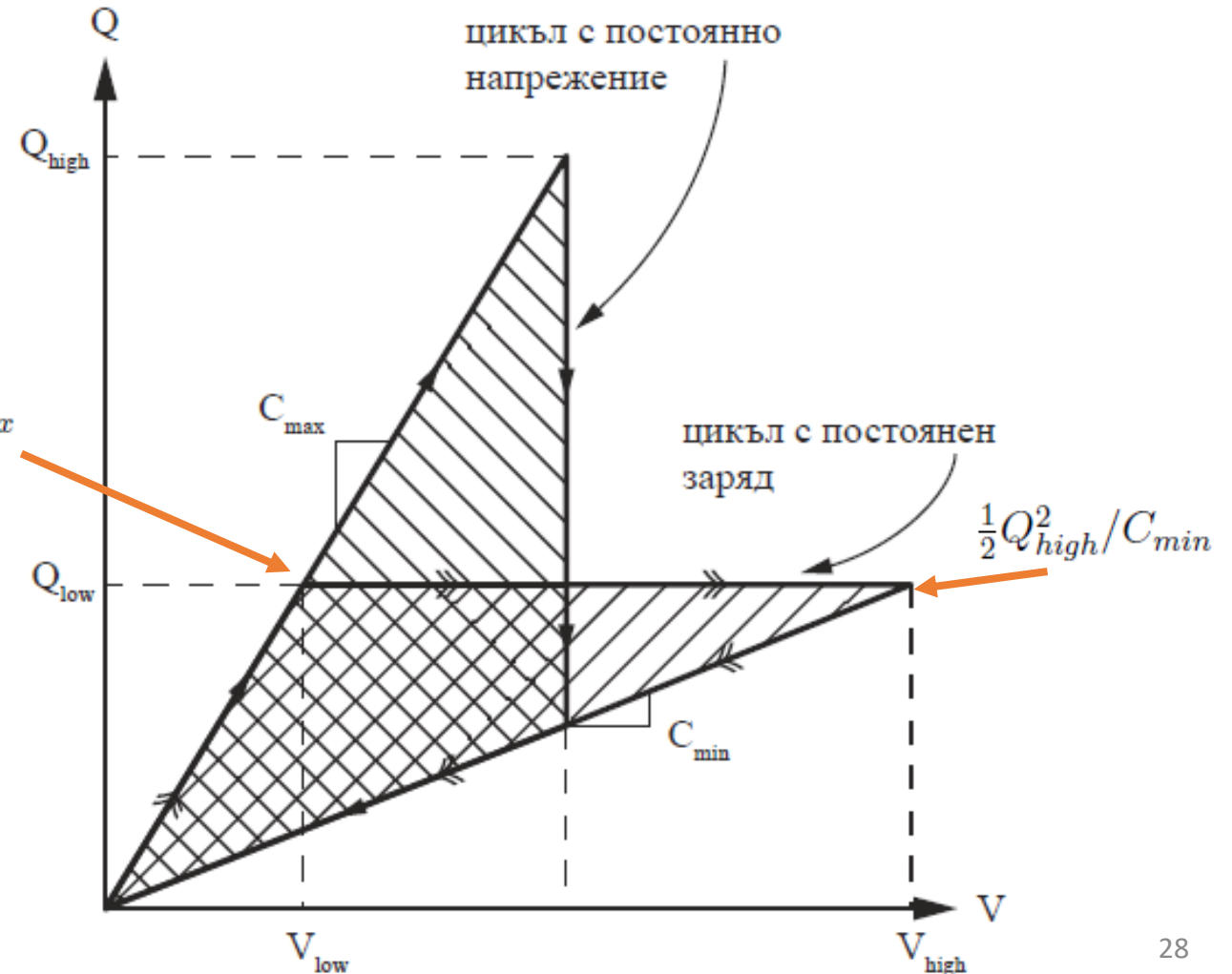
Източник: Beeby et. al., JMM, 2008

Енергия от вибрации чрез електростатичен ефект

Мощност $P \propto V_s^2 \frac{dC}{dt}$

Преобразувана енергия C_{max}/C_{min}

$$Q_{high} = C_{max}V_{low} = C_{min}V_{high}$$



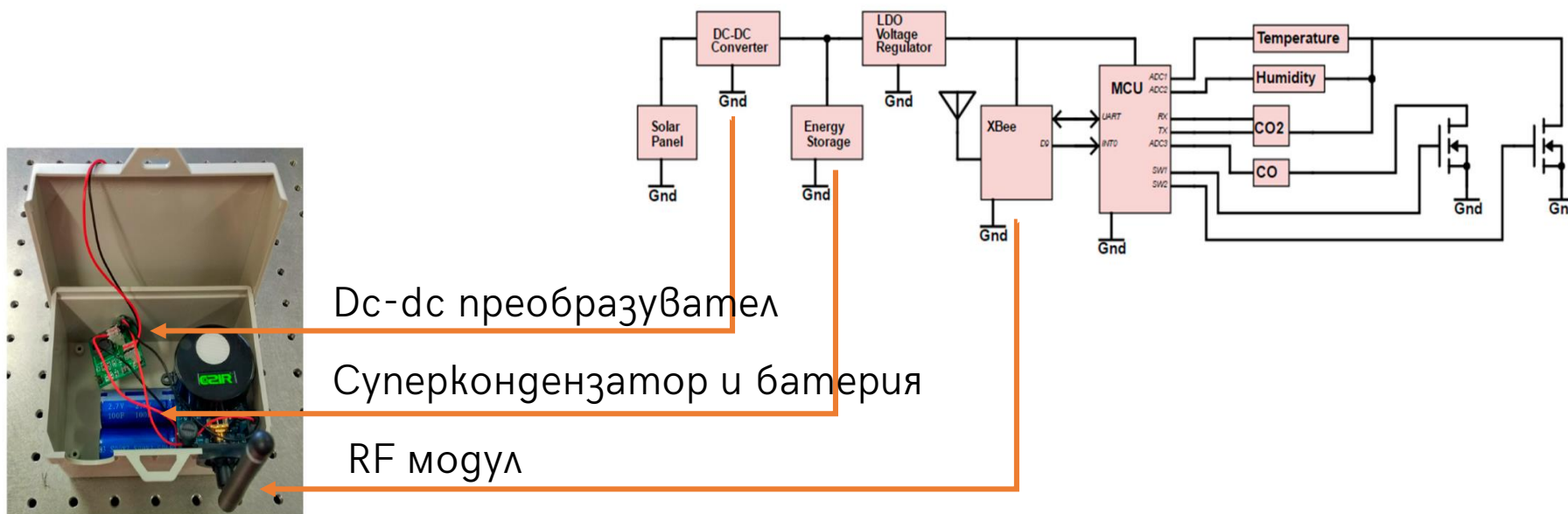
Енергия от вибрации чрез електростатичен ефект

OMRON и HOLST/imes
Електростатичен преобразувател
Размери: 2 cm x 2 cm
Изходно напрежение: от 1.5 V до 5 V



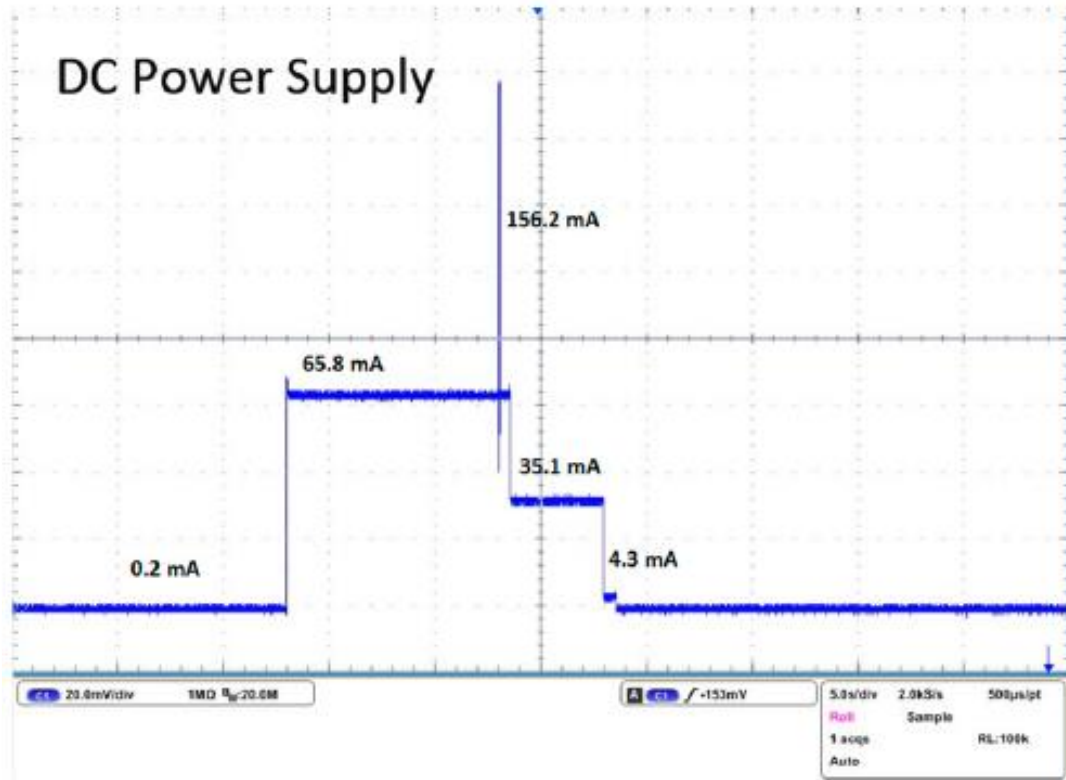
Консумация в микромощно токозахранване

Описание	Име	Покой (mA)	Активен режим
RF модул	Xbee	29	120
MCU	ATMega328	4.35	4.35
Влажност	HH5030	0.2	0.2
CO ₂	GC-0012	1.5	1.5
CO	MiCS-5121WP	30.7	30.7

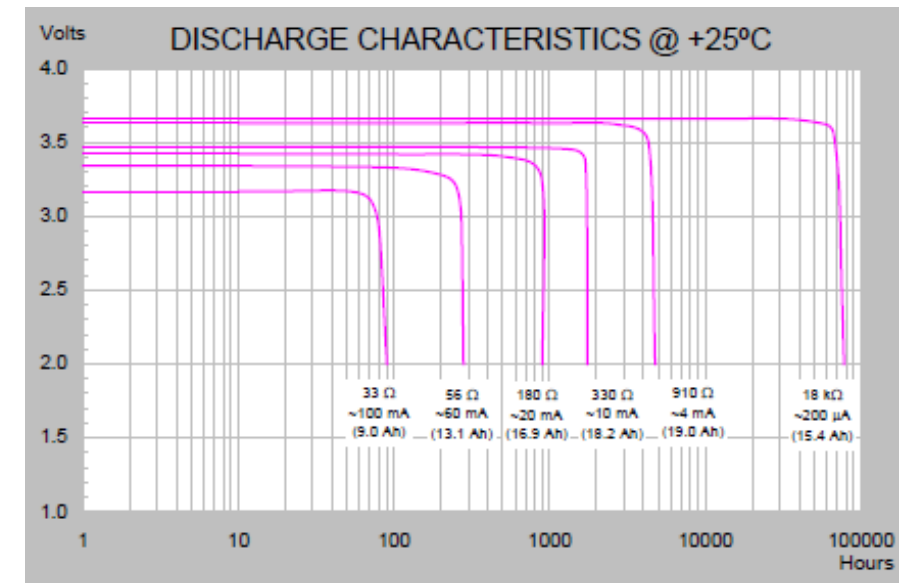
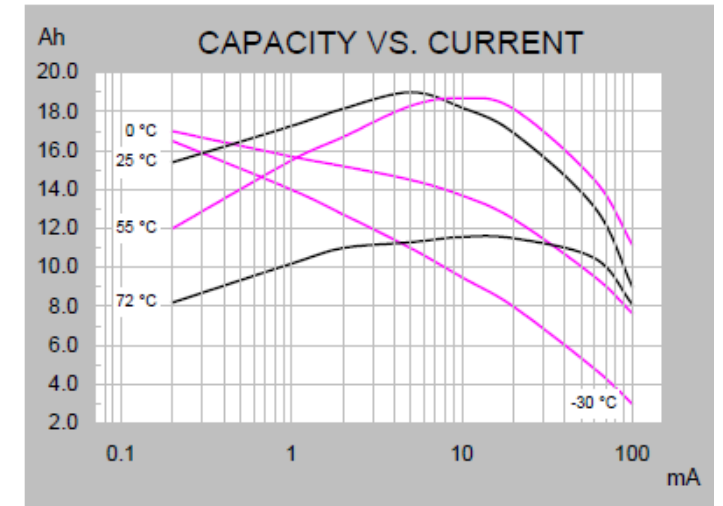


Анализ на консумация в IoT сензор

Профил на консумацията



Taridan TL-5930/F
3.6 V, 19 Ah



Анализ на консумация на комуникацията на LTC5800

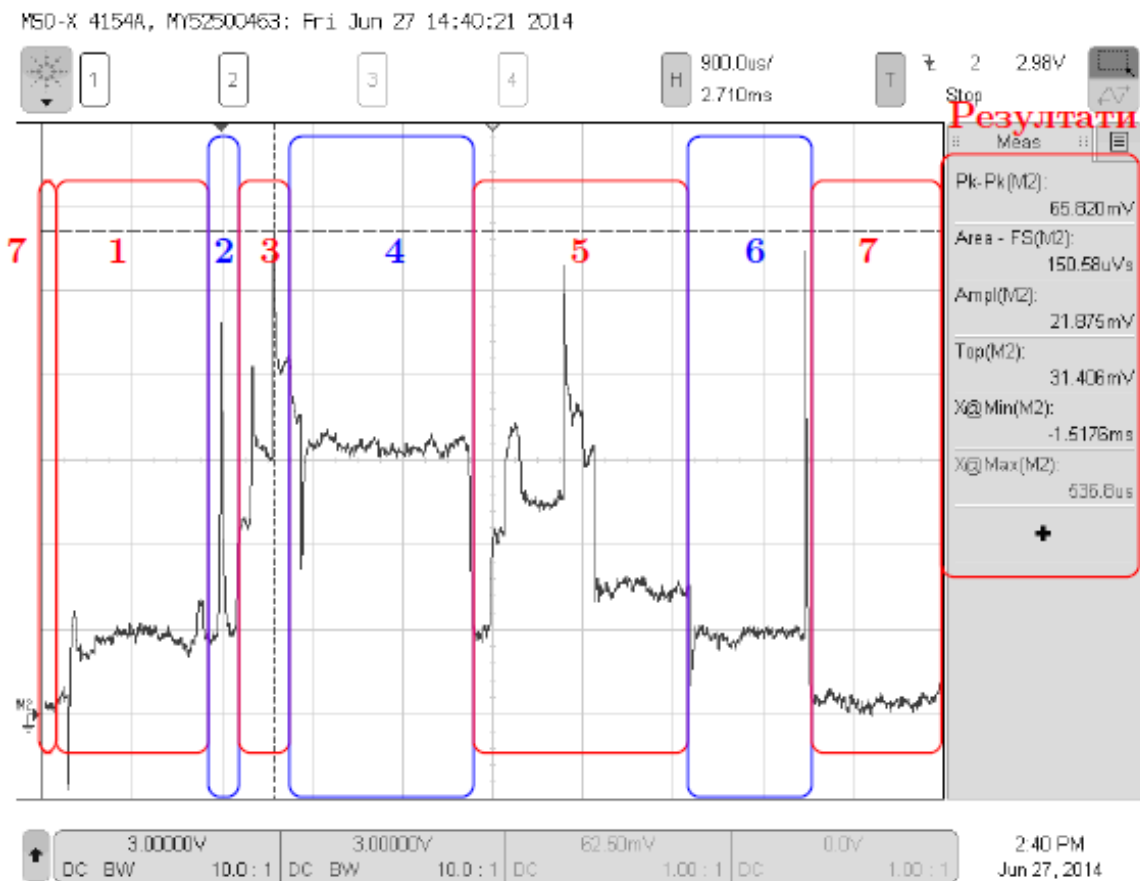
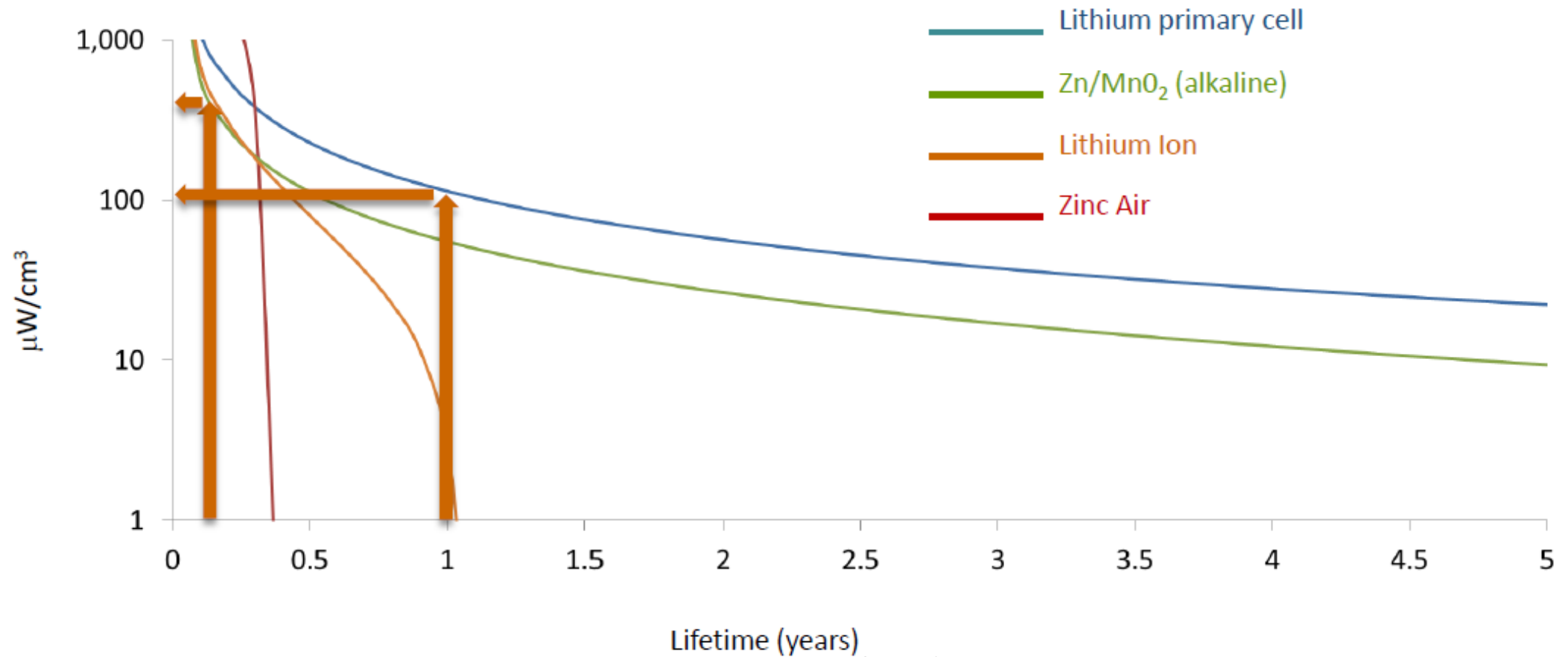


Таблица 2.4: Подробно описание на профила на консумация на LTC5800

№	Описание	Време	Заряд	Ток
1	Стартиране на контролера	1.6 ms	2.58 μC	1.61 mA
2	CCA clear channel assessment	238.5 μs	0.65 μC	2.72 mA
3	Подготовка за изпращане на данните	690 μs	4.08 μC	5.91 mA
4	Изпращане на пакета данни	1.69 ms	12.76 μC	6.38 mA
5	Изчакване на потвърждение	2.2 ms	9.06 μC	4.12 mA
6	Обработка на потвърждението	1.2 ms	2.43 μC	1.94 mA
7	Режим на понижена консумация	1.30 ms	0.22 μC	0.30 mA
8	Общо измерено	7.2 ms	29.82 μC	5.9 mA

Живот на батерии



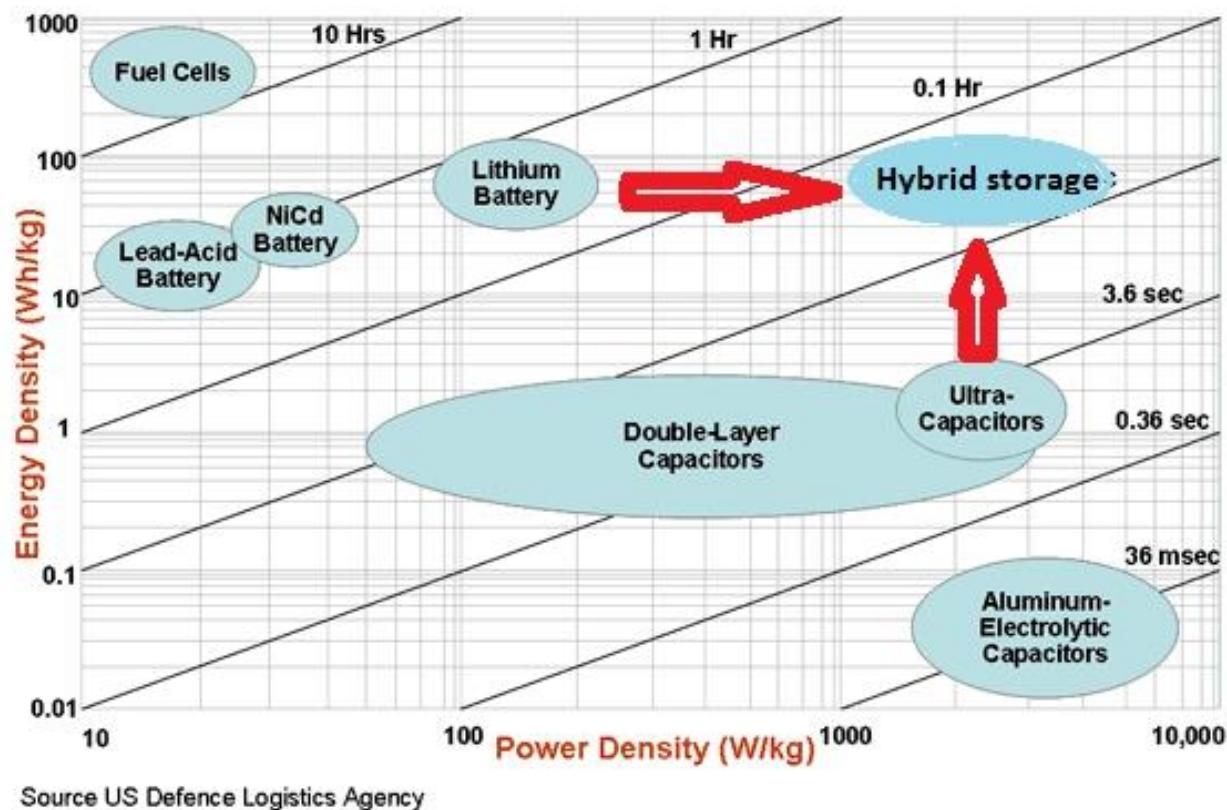
Източник: US Defence Logistic Agency

Плътност на физическите носители на енергията в зависимост от плътността на мощността

Зависимост на плътността на мощността спрямо плътността а енергия във физически елементи за съхранение на енергията

В настоящия момент няма универсално решение за дълговременно съхранение на енергията за автономно захранващи се IoT сензори

Комбинация между презареждаема батерия и суперкондензатор е решение



Източник: US Defence Logistic Agency