

## WYKORZYSTANIE UKŁADU LTC3588-1 DO KONSTRUKCJI ŹRÓDEŁ POZYSKIWANIA ENERGII RESZTKOWEJ

Sławomir TYBORCZYK<sup>1</sup>, Stanisław GALLA<sup>2</sup>

1. Student kierunku:

Elektronika i telekomunikacja

tel: 728 353 282

e-mail: slatyb@gmail.com

2. Miejsce pracy

Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska

tel: (58) 347 21 40

fax: (58) 341 61 32

e-mail: galla@eti.pg.gda.pl

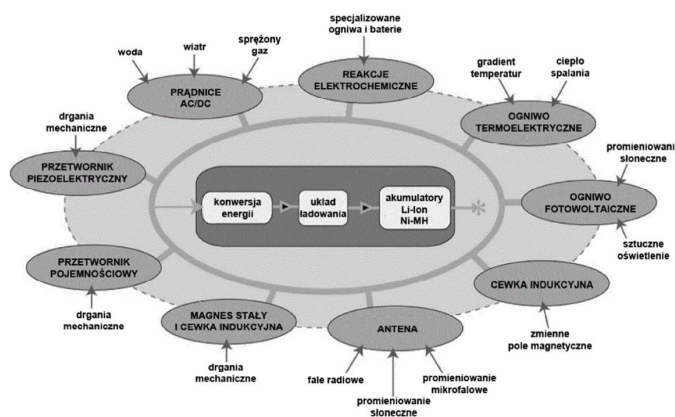
**Streszczenie:** Przedmiotem niniejszej pracy są zagadnienia odzyskiwania energii resztkowej generowanej wskutek mechanicznego odkształcania kryształu piezoelektrycznego oraz za pomocą ogniwa fotowoltaicznego przy zastosowaniu przetwornicy napięcia typu LTC3588-1. Zastosowana przetwornica umożliwia pozyskiwanie energii z różnych źródeł. W ramach referatu przedstawiono wyniki pracy nad mikrozasilaczem, który umożliwiał zarówno współpracę z piezoelektrykami jak i ogniwami fotowoltaicznymi

**Słowa kluczowe:** zasilanie, zbieranie energii

### 1. WPROWADZENIE

Energia elektryczna jest jednym z najistotniejszych czynników rozwoju współczesnej cywilizacji. Sztuczne oświetlenie gospodarstw domowych, elektryfikacja kolei czy rozwój przemysłu maszynowego to tylko niektóre z oczywistych korzyści wytwarzania i przesyłania prądu elektrycznego. Współcześnie zdecydowana większość urządzeń elektronicznych wykorzystuje energię elektryczną dostarczaną przez sieć energetyczną, specjalizowane zasilacze, baterie ogniwo czy akumulatory. W obliczu trendu rosnącej miniaturyzacji układów elektronicznych oraz znaczącej redukcji poboru mocy i obniżaniu napięć ich zasilania, coraz większe zainteresowanie wzbudza dziedzina pozyskiwania energii resztkowej występującej w różnorodnych postaciach. Nowoczesne systemy w wyniku spadku zapotrzebowania na pobór dużej mocy mogą być zasilane z alternatywnych źródeł których zasada działania oparta jest na efekcie fotoelektrycznym, termoelektrycznym czy zjawisku piezoelektrycznym. Na rys. 1 przedstawiono główne sposoby uzyskiwania energii elektrycznej z otoczenia. Generatory piezoelektryczne w stosunku do innych źródeł energii resztkowej posiadają kilka zalet. Charakteryzują się małymi wymiarami geometrycznymi (piezoelektryki w układach MEMS), odznaczają się bardzo dużą żywotnością i powszechną dostępnością źródła ich pobudzenia (ruch, wibracje, nacisk) [1]. Mimo to podstawową i główną ich wadą pozostaje

niska wydajność prądowa. Zdecydowanie lepszymi parametrami pod względem wydajności prądowej.



Rys. 1. Sposoby pozyskiwania energii resztkowej [2]

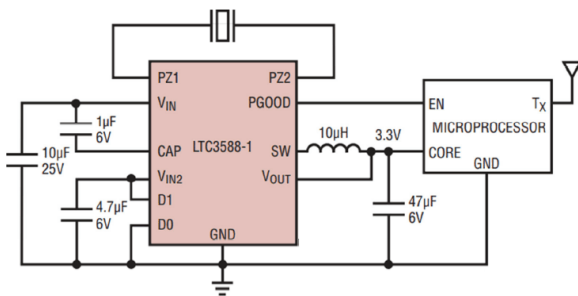
charakteryzują się ogniwa fotowoltaiczne, jednakże także one posiadają szereg niedogodności, takich jak brak generacji prądu w przypadku zaciemnienia, konieczność czyszczenia ogniwo oraz znaczne niejednorodności w warunkach pracy zależne od nasłonecznienia.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań nad uniwersalnym mikrozasilaczem, który umożliwi współpracę zarówno z piezoelektrykami, jak i fotoogniwami. Może on być źródłem zasilanie urządzeń elektronicznych o napięciach zasilania z przedziału 1,8 V – 3,6 V. Konstrukcja urządzenia zasilającego oparta jest na specjalizowanej przetwornicy napięcia typu LTC3588-1.

### 2. SKRÓCONY OPIS DZIAŁANIA PRZETWORNICY

Układ LTC3588-1 jest scalonym konwerterem mocy typu buck, przeznaczonym docelowo do niskoprądowych aplikacji odzyskiwania i konwersji energii. Układ został zaprojektowany w taki sposób, aby mógł on współpracować z różnymi źródłami energii resztkowej,

a w szczególności modułami piezoelektrycznymi. Jego podstawowe działanie polega na wyprostowaniu napięcia wejściowego i przechowaniu odzyskanej energii w zewnętrznym kondensatorze przy zachowaniu możliwości ciągłej regulacji napięcia wyjściowego. W swojej strukturze wewnętrznej zawiera on dwupołkowy prostownik napięcia zmiennego w postaci diodowego mostka Graetza, dostępny poprzez różnicowe piny wejściowe 1 (PZ1) i 2 (PZ2). Zadaniem tego podukładu jest prostowanie zmiennego napięcia wejściowego pochodzącego z zewnętrznego źródła energii. Prąd wyjściowy mostka (maksymalnie 50 mA) ładuje zewnętrzny kondensator podłączony do pinu (VIN), który może zostać wykorzystany jako źródło energii dla pracy podukładu przetwornicy. Dla typowych prądów pochodzących z modułów piezoelektrycznych (rzędu 10  $\mu$ A) całkowity spadek napięcia na mostku wynosi ok. 400 mV [3].



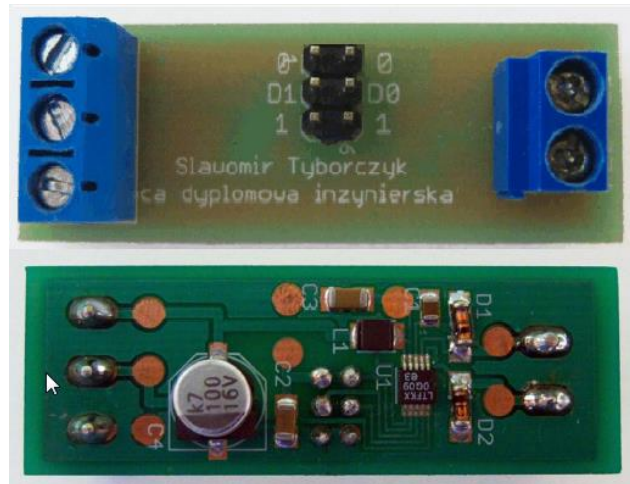
Rys. 2. Schemat typowego układu przetwornicy LTC3588-1 współpracującej z piezoelektrykami [3]

Odzyskana energia może być przechowywana zarówno w kondensatorze wejściowym, jak i wyjściowym. Z uwagi na fakt, że jest ona proporcjonalna do kwadratu napięcia na okładkach kondensatora, w układzie LTC3588-1 zastosowano stosunkowo szeroki zakres napięć wejściowych, który pozwala na zgromadzenie dużych ilości ładunku elektrycznego. Gdy poziom napięcia wyjściowego osiąga punkt regulacji (wybrany poziom napięcia wyjściowego), nadmiarowa energia pochodząca ze źródła jest przechowywana w kondensatorze wejściowym. W przypadku obciążenia wyjścia przetwornica efektywnie konwertuje wysokie napięcie wejściowe na niskie i ustabilizowane wyjściowe, a prąd zależy głównie od wydajności źródła. Większy chwilowy prąd obciążenia można uzyskać, stosując odpowiednio większe wartości pojemności kondensatora wyjściowego.

### 3. ZREALIZOWANY UKŁAD

Projekt płytki został zrealizowany w programie EAGLE na podstawie noty aplikacyjnej (rys. 2) będącej układem wyjściowym. W zrealizowanym projekcie wprowadzono zmiany mające na celu ułatwienie prowadzonych prac badawczych, np.: zamieszczono osiem miejsc testowych, połączonych z wyprowadzeniami PZ1, PZ2, VIN, V\_IN2, PG00D oraz V\_OUT. Dodatkowo dodano dwa punkty połączone z masą urządzenia. Z uwagi na fakt, że napięcia generowane przez moduły piezoelektryczne nierzadko sięgają kilkudziesięciu, a nawet kilkuset woltów, pomiędzy każde z wejść PZ a masę urządzenia podłączono zaporowo spolaryzowaną diodę Zenera o napięciu równym 18 V. Zapewniającą dodatkowe zabezpieczenie przetwornicy

przed występowaniem większych napięć wejściowych niż 18 V, mogących uszkodzić przetwornicę. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie zrealizowanego układu (warstwa górna i dolna).



Rys. 3. Zdjęcie zrealizowanej płytki przetwornicy [1]

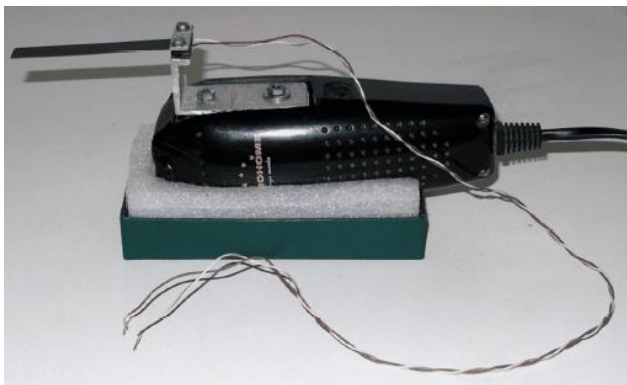
## 4. BADANIA UKŁADU

W niniejszym punkcie przedstawiono wyniki badań wykonanych na stanowisku do pomiaru podstawowych parametrów przetwornicy. Pomiary wykonywano zarówno przy współpracy z elementami piezoelektrycznymi, jak i ogniwami fotowoltaicznymi.

### 4.1. Pomiary w układzie z piezoelektrykami

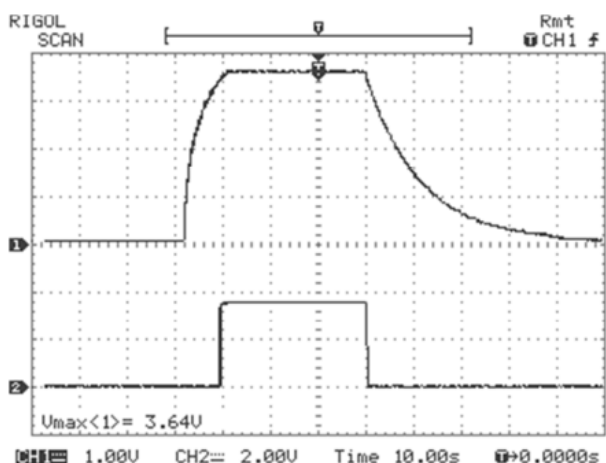
W badaniach wykorzystano przetworniki piezoelektryczne o oznaczeniu PZT 507, zaprojektowane przez MTC (Morgan Technical Ceramics) specjalnie dla aplikacji wykorzystujących alfabet Braille'a, takich jak klawiatury czy wyświetlacze dla niewidomych osób. Ich cechą charakterystyczną jest generowanie odkształceń o małych amplitudach, odporność na wilgoć i długa żywotność, dzięki czemu świetnie nadają się również do odzyskiwania energii. Moduł PZT 507 wywodzi się z rodziny przetworników bimorficznych, co oznacza, że składa się on z dwóch belek piezoelektrycznych rozdzielonych paskiem włókna węglowego. Belki są w taki sposób dobrane, by odkształcenia w nich generowane zawsze były przeciwnie skierowane (gdy jedna płytka jest rozszerzana, druga się kurczy). Dzięki temu całkowite odkształcenie modułu jest większe niż odkształcenia jego poszczególnych składników. Do belek przytwierdzone są połączone elektrody służące do przylutowania wyprowadzeń. Podstawowe parametry przetwornika PZT 507 zostały zaprezentowane w [4].

Do badań skonstruowano stanowisko pomiarowe wykorzystujące przebudowaną golarkę oscylacyjną o zmiennym skoku, którą przebudowano na wytrząsarke elektryczną. Zmodyfikowane urządzenie wraz z zamontowanym modułem piezoelektrycznym umieszczono w piankowym statywie. Zrealizowany układ, przedstawiony na rys. 4, pozwalał na uzyskanie napięcia rzędu 17 V oraz częstotliwości 100 Hz (podwojona częstotliwość napięcia sieci).



Rys. 4. Układ wytrząsarki wraz z zamontowanym modulem piezoelektrycznym [1]

W ramach pierwszego testu mikrogenerators wykonano badanie profilu startu przetwornicy napięcia, który jest określony przez kształt przebiegu na wyjściu urządzenia. W czasie od startu źródła energii do chwili ustabilizowania się napięcia wyjściowego w funkcji wybranych napięć wyjściowych 1,8 V; 2,5 V; 3,3 V; 3,6 V. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy przebieg napięcia wyjściowego dla napięcia  $V_{out} = 3,6$  V (kanał 1)



Rys. 5. Oscylogram napięcia wyjściowego dla  $V_{out} = 3,6$  V dla układu z piezoelektrycznym źródłem energii [1]

oraz przebieg sygnalizujący osiągnięcie nominalnej wartości napięcia na wyjściu cyfrowym mikrogenerators PGOOD (kanał 2). W ramach następnych badań wykonano pośrednie pomiary mocy wejściowej i wyjściowej, aby ocenić ilościowo wartość odzyskiwanej energii oraz oszacować sprawność energetyczną urządzenia. Moduł piezoelektryczny był zamontowany na wytrząsarce i podłączony do zacisków wejściowych mikrogenerators. Do wyjścia układu podłączono obciążenie rezystancyjne w postaci potencjometru o wartości  $R = 50$  k $\Omega$  pozwalającego na wyznaczenie rezystancji granicznej  $R_{GR}$ . Dodatkowo na wejściu urządzenia dołączono dwa mierniki: szeregowo mikroamperomierz oraz równolegle woltomierz. Przebieg napięcia wyjściowego obserwowano na oscyloskopie. Dzięki takiej konfiguracji możliwe było monitorowanie wartości prądów i napięć przy jednoczesnej obserwacji kształtu sygnału wyjściowego. Dla każdej z czterech wartości napięcia wyjściowego wykonano pomiary stosując taką samą procedurę pomiarową, wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów sprawności przetwornicy współpracującej z układem piezoelektrycznym

$V_{OUT}$ [V]	1,8	2,5	3,3	3,6
$R_{GR}$ [k $\Omega$ ]	14,88	26,51	44,71	48,65
$I_{OUT}$ [ $\mu$ A]	120,96	94,31	73,80	74,00
$V_{IN}$ [V]	6,22	6,33	6,35	6,36
$I_{IN}$ [ $\mu$ A]	43,91	45,08	44,63	48,33
$P_{OUT}$ [ $\mu$ W]	217,73	235,78	243,55	266,36
$P_{IN}$ [ $\mu$ W]	273,26	285,27	283,2	307,58
$\eta$ [%]	79,68	82,65	85,98	86,60

#### 4.2. Pomiary w układzie z ogniwami fotowoltaicznymi

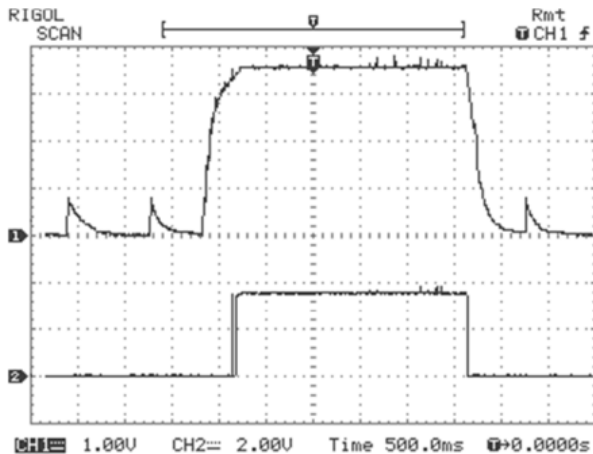
W badaniach wykorzystano moduł solarny typu ASI30o07 niemieckiej firmy Schott Solar. Moduł ma wymiary 122 mm x 115 mm i zbudowany jest z baterii siedmiu połączonych, identycznie zorientowanych ogniw. Zgodnie z deklaracjami producenta, napięcie jałowe panelu wynosi 11,4 V, zaś maksymalna moc dostarczana 713 mW [5]. Pierwszym etapem testów było określenie napięcia jałowego posiadanego panelu słonecznego. Z uwagi na fakt, że pomiarów dokonywano w pochmurny, deszczowy dzień, do pobudzenia fotoelementu zdecydowano się użyć sztucznego oświetlenia w postaci biurkowej lampki halogenowej o mocy 20 W. Po ustawieniu włączanej lampki w odległości ok. 10 cm od powierzchni panelu zmierzono napięcie jałowe na zaciskach panelu, które wyniosło około 11 V. Dla porównania, napięcie jałowe przy wyłączonym oświetleniu sztucznym i dostępnym pokojowym oświetleniu dziennym wahało się w granicach 5,0 – 5,4V. Do pomiaru mocy zastosowano układ pomiarowy jak dla badań układu piezoelektrycznego. W pomiarach rezystancji granicznej  $R_{GR}$  wykorzystano precyzyjny potencjometr o rezystancji  $R = 2$  k $\Omega$ . Wyniki badań mikrogenerators z wykorzystaniem panelu słonecznego w charakterze źródła energii przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów sprawności przetwornicy współpracującej z ogniwami fotowoltaicznymi

$V_{OUT}$ [V]	1,8	2,5	3,3	3,6
$R_{GR}$ [ $\Omega$ ]	422	841	1310	1328
$I_{OUT}$ [mA]	4,26	2,97	2,52	2,71
$V_{IN}$ [V]	10,91	10,91	10,9	10,91
$I_{IN}$ [mA]	0,96	0,91	0,97	1,09
$P_{OUT}$ [mW]	7,68	7,43	8,31	9,76
$P_{IN}$ [mW]	10,46	9,97	10,59	11,92
$\eta$ [%]	73,38	74,53	78,47	81,84

Na rys. 6 przedstawiono przebieg napięcia w momencie załączania oświetlenia modułu fotowoltaicznego. Przedstawione oscylogramy są analogiczne do przedstawionych na rys. 5 obrazującym wyjściowe przebiegi napięciowe dla modułu piezoelektrycznego w charakterze źródła. Jednak można dostrzec pomiędzy nimi dwie subtelne różnice. Czas narastania napięcia na obciążonym wyjściu układu jest znacznie krótszy w przypadku zastosowania panelu słonecznego na wejściu układu. Opisane spostrzeżenie wynika ze znacznie większej wydajności prądowej modułu fotowoltaicznego w porównaniu do przetwornicy piezoelektrycznej. Drugą różnicą jest występowanie w okresie wyłączenia lampki niewielkich impulsów napięcia na wyjściu przetwornicy o wartości ok. 0,8 V. Związane jest to z faktem, że nawet przy wyłączeniu lampki panel słoneczny za sprawą słabego oświetlenia naturalnego generował określony prąd

fotoelektryczny, niewystarczający jednak do uruchomienia mikrogeneratora i ustabilizowania napięcia wyjściowego.



Rys. 6. Oscylogram napięcia wyjściowego dla  $V_{out} = 3,6\text{ V}$  dla układu z fotowoltaicznym źródłem energii [1]

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przeprowadzone badania wskazują, iż układ LTC 3588-1 bardzo dobrze współpracuje z modułem piezoelektrycznym oraz ogniwami fotowoltaicznymi. Określono, że w przypadku układu piezoelektrycznego uzyskiwane wartości natężenia prądu wyjściowego nie przekraczały  $130\ \mu\text{A}$ . Zgodnie z dokumentacją techniczną układu piezoelektrycznego przeprowadzono próby optymalizacji, polegające na dostrojeniu częstotliwości rezonansowej belki piezoelektrycznej do częstotliwości drgań wymuszających poprzez dołączenie do niej nieznacznej masy o odpowiednio dobranej wartości. W takich warunkach zoptymalizowany układ wytrząsarka – moduł jest w stanie generować w sposób ciągły prąd o wartości około  $1\ \text{mA}$ . Równocześnie przeprowadzone badania wskazują, że w przypadku współpracy przetwornicy z modułem fotowoltaicznym uzyskiwane wartości mocy wyjściowej są ok. 30-krotnie większe niż w przypadku zastosowania modułu piezoelektrycznego. Możliwy jest dalszy wzrost mocy wyjściowej na drodze zmniejszania wartości rezystora ograniczającego prąd wejściowy urządzenia. Producent układu przetwornicy deklaruje, że przetwornica jest w stanie dostarczać ciągłego prądu wyjściowego o natężeniu  $100\ \text{mA}$ , zaś impulsowego nawet do  $350\ \text{mA}$ . Warto również zwrócić uwagę na sprawność przetwornicy, która waha się od ok. 75% dla modułów

fotowoltaicznych do ponad 80% dla modułów piezoelektrycznych. Wysoka sprawność energetyczna ma szczególnie istotne znaczenie w przypadku źródeł o bardzo małych wydajnościach prądowych (jak moduły piezoelektryczne), gdzie każde, nawet najmniejsze źródło strat w mikrogeneratorsze ma istotny wpływ na czas akumulacji ładunku w kondensatorze wyjściowym i szybkość jego regeneracji. Dodatkowo należy pamiętać, że współczesna elektronika coraz szybciej zmierza w stronę obniżania napięć zasilania i redukcji poboru mocy przez układy scalone, toteż nawet generowanie prądu stałego o średniej wartości  $130\ \mu\text{A}$  może zostać wykorzystane jako źródło zasilania dla mikrosystemów pracujących w sposób ciągły. Przykładem takiego układu jest chociażby mikrokontroler PIC12LF1823 firmy Microchip, charakteryzujący się napięciem zasilania na poziomie  $1,8\ \text{V}$  i poborem prądu wynoszącym  $30\ \mu\text{A}$  na każdy MHz częstotliwości zegara taktującego (w trybie normalnej pracy) [6]. W trybie uśpienia jego pobór prądu spada do zaledwie  $20\ \text{nA}$ . Obecnie większość producentów układów scalonych ma w swojej ofercie rodzinę układów nazwanych zwykle „ultra low power” i odznaczających się stałym zużyciem mocy na poziomie kilkudziesięciu – kilkuset mikrowatów. Dlatego, też zastosowana przetwornica pozwala na dostarczanie w postaci krótkich impulsów prądowych energii do odbiornika niezależnie od rodzaju źródła.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Tyborczyk S. „Mikrogenerator energii wykorzystujący zjawisko piezoelektryczne” Praca inżynierska, PG WETiI 2012 r
2. Energy harvesting. Dostęp 07 czerwca 2013 z sieci uczelnianej pod adresem <http://www.energyharvesting.net/>
3. Linear Technology. LTC3588-1 datasheet. Dostęp 28 czerwca 2012 z sieci uczelnianej pod adresem <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/35881fa.pdf>
4. Morgan Technical Ceramics. Braille Bimorph Actuators. Dostęp 28 czerwca 2012 z sieci uczelnianej pod adresem <http://www.morganelectroceramics.com/products/piezoelectric/piezo-bimorphs/>
5. Nota katalogowa panelu słonecznego ASI3Oo07/122/115. Dostęp 15 listopada 2012 z sieci uczelnianej pod adresem <http://www.actec.dk/Schott-Solar/pdf/asi-oem-outdoor-design.pdf>
6. Microchip. PIC12LF1822 datasheet Dostęp 4 grudnia 2012 z sieci uczelnianej pod adresem <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41413C.pdf>

## USE OF THE LTC3588-1 STRUCTURE AS A SOURCE OF THE RESIDUAL ENERGY

Key words: harvesting energy, supply, piezoelectric

ABSTRACT:

The object of this paper are issues related to the recovery of the residual energy generated by the mechanical deformation of the piezoelectric crystal or by the use of a photovoltaic cell using a specialized LTC3588-1 voltage converter. The applied converter allows to use various energy source.