



**Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie**

**WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,  
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ**

**KATEDRA METROLOGII I ELEKTRONIKI**

**Praca dyplomowa magisterska**

**Analiza właściwości miernika do pomiaru THD  
sygnałów napięciowych**

Autor:

Kierunek studiów:

Opiekun pracy:

Wojciech Zieliński

Elektrotechnika

dr hab. inż. Ryszard Sroka, prof. AGH

Kraków, 13 maja 2018

*Upředzony o odpowiedzialności karnej na podstawie art. 115 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.): „Kto przywłaszcza sobie autorstwo albo wprowadza w błąd co do autorstwa całości lub części cudzego utworu albo artystycznego wykonania, podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności albo pozbawienia wolności do lat 3. Tej samej karze podlega, kto rozpowszechnia bez podania nazwiska lub pseudonimu twórcy cudzy utwór w wersji oryginalnej albo w postaci opracowania, artystyczne wykonanie albo publicznie zniekształca taki utwór, artystyczne wykonanie, fonogram, wideogram lub nadanie.”, a także upředzony o odpowiedzialności dyscyplinarnej na podstawie art. 211 ust. 1 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (t.j. Dz. U. z 2012 r. poz. 572, z późn. zm.) „Za naruszenie przepisów obowiązujących w uczelni oraz za czyny uchylające godności studenta student ponosi odpowiedzialność dyscyplinarną przed komisją dyscyplinarną albo przed sądem koleżeńskim samorządu studenckiego, zwanym dalej „sądem koleżeńskim”, oświadczam, że niniejszą pracę dyplomową wykonałem(-am) osobiście i samodzielnie i że nie korzystałem(-am) ze źródeł innych niż wymienione w pracy.*

.....

podpis

# Spis treści

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Podstawowe definicje</b>                         | 2 |
| 1.1. Sygnały i ich parametry                           | 2 |
| 1.1.1. Definicja sygnału okresowego                    | 2 |
| 1.1.2. Składowe harmoniczne                            | 2 |
| 1.1.3. Przykłady standardowych sygnałów okresowych     | 2 |
| 1.2. Transformata Fouriera                             | 2 |
| 1.2.1. Idea transformaty Fouriera                      | 2 |
| 1.2.2. Dyskretna transformata Fouriera                 | 2 |
| 1.2.3. Szybka transformata Fouriera                    | 2 |
| 1.3. Definicje THD                                     | 2 |
| 1.4. Przetwornik analogowo - cyfrowy                   | 2 |
| 1.4.1. Próbkowanie, kwantowanie i kodowanie            | 2 |
| 1.4.2. Topologie przetworników A/C                     | 2 |
| 1.5. Filtr antyaliasingowy                             | 2 |
| 1.5.1. Twierdzenie o próbkowaniu i definicja aliasingu | 2 |
| 1.5.2. Filtry aktywne                                  | 2 |
| 1.5.3. Topologie filtrów aktywnych                     | 2 |
| <b>2. Przegląd istniejących rozwiązań</b>              | 3 |
| <b>3. Analiza normy IEC 6100-4-30</b>                  | 4 |
| 3.1. Klasy przyrządów                                  | 4 |
| 3.2. Struktura przyrządu                               | 4 |
| 3.3. Wymagania dotyczące pomiaru częstotliwości        | 4 |
| 3.4. Wymagania dotyczące pomiaru harmoniczných         | 4 |
| <b>4. Implementacja przyrządu</b>                      | 5 |
| 4.1. Założenia projektowe                              | 6 |
| 4.2. Użyte podzespoły                                  | 6 |
| 4.2.1. Płytki rozwojowa FRDM-KL25Z                     | 6 |
| 4.2.2. Filtr antyaliasingowy - układ MAX295            | 6 |
| 4.2.3. Pamięć zewnętrzna - układ 23LCV1024             | 6 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2.4. Wyświetlacz OLED SSD1306.....                                   | 6         |
| 4.3. Projekt PCB .....   | 6         |
| 4.3.1. Schemat .....   | 6         |
| 4.3.2. Layout.....   | 6         |
| 4.4. Środowisko pracy .....  | 6         |
| 4.4.1. Środowisko mbed.....  | 6         |
| 4.4.2. Skrypty testowe.....  | 6         |
| 4.5. Program.....  | 6         |
| 4.5.1. Algorytm ogólny .....   | 6         |
| 4.5.2. Inicjalizacja .....   | 6         |
| 4.5.3. Pomiar częstotliwości .....                                     | 6         |
| 4.5.4. Próbkowanie .....   | 6         |
| 4.5.5. DFT i wyznaczenie THD .....                                     | 6         |
| 4.5.6. Prezentacja wyników.....  | 6         |
| <b>5. Badanie parametrów przyrządu.....</b>                            | <b>7</b>  |
| 5.1. Symulacje.....  | 7         |
| 5.1.1. Wpływ rozdzielczości przetwornika A/C na wynik pomiaru.....     | 7         |
| 5.1.2. Wpływ precyzji częstotliwości próbkowania na wynik pomiaru..... | 7         |
| 5.2. Pomiary .....   | 7         |
| 5.2.1. Badanie filtra antyaliasingowego .....                          | 7         |
| 5.2.2. Wpływ funkcji okna na wynik pomiaru .....                       | 7         |
| 5.2.3. Wpływ uśredniania na wynik pomiaru.....                         | 7         |
| 5.2.4. Porównanie z rozwiązaniami komercyjnymi.....                    | 7         |
| <b>6. Podsumowanie i wnioski.....</b>                                  | <b>8</b>  |
| <b>Bibliografia.....</b>   | <b>10</b> |

# **1. Podstawowe definicje**

## **1.1. Sygnały i ich parametry**

### **1.1.1. Definicja sygnału okresowego**

### **1.1.2. Składowe harmoniczne**

### **1.1.3. Przykłady standardowych sygnałów okresowych**

## **1.2. Transformata Fouriera**

### **1.2.1. Idea transformaty Fouriera**

### **1.2.2. Dyskretna transformata Fouriera**

### **1.2.3. Szybka transformata Fouriera**

## **1.3. Definicje THD**

## **1.4. Przetwornik analogowo - cyfrowy**

### **1.4.1. Próbkowanie, kwantowanie i kodowanie**

### **1.4.2. Topologie przetworników A/C**

## **1.5. Filtr antyaliasingowy**

### **1.5.1. Twierdzenie o próbkowaniu i definicja aliasingu**

### **1.5.2. Filtry aktywne**

### **1.5.3. Topologie filtrów aktywnych**

## **2. Przegląd istniejących rozwiązań**

### **3. Analiza normy IEC 6100-4-30**

#### **3.1. Klasy przyrządów**

#### **3.2. Struktura przyrządu**

#### **3.3. Wymagania dotyczące pomiaru częstotliwości**

#### **3.4. Wymagania dotyczące pomiaru harmoniczných**





## **4. Implementacja przyrządu**

### **4.1. Założenia projektowe**

### **4.2. Użyte podzespoły**

#### **4.2.1. Płytką rozwojowa FRDM-KL25Z**

#### **4.2.2. Filtr antyaliasingowy - układ MAX295**

#### **4.2.3. Pamięć zewnętrzna - układ 23LCV1024**

#### **4.2.4. Wyświetlacz OLED SSD1306**

### **4.3. Projekt PCB**

#### **4.3.1. Schemat**

#### **4.3.2. Layout**

### **4.4. Środowisko pracy**

#### **4.4.1. Środowisko mbed**

#### **4.4.2. Skrypty testowe**

### **4.5. Program**

#### **4.5.1. Algorytm ogólny**

#### **4.5.2. Inicjalizacja**

#### **4.5.3. Pomiar częstotliwości**

#### **4.5.4. Próbkowanie**

#### **4.5.5. DFT i wyznaczenie THD**

#### **4.5.6. Prezentacja wyników**

## **5. Badanie parametrów przyrządu**

### **5.1. Symulacje**

**5.1.1. Wpływ rozdzielczości przetwornika A/C na wynik pomiaru**

**5.1.2. Wpływ precyzji częstotliwości próbkowania na wynik pomiaru**

### **5.2. Pomiary**

**5.2.1. Badanie filtra antyaliasingowego**

**5.2.2. Wpływ funkcji okna na wynik pomiaru**

**5.2.3. Wpływ uśredniania na wynik pomiaru**

**5.2.4. Porównanie z rozwiązaniami komercyjnymi**

## **6. Podsumowanie i wnioski**

## **Załącznik A - Szczegółowe wyniki pomiarów**

## **Załącznik B - Pliki nagłówkowe klas programu**

# Bibliografia

- [1] "Pn-en 61000-4-7:2002," 2002.
- [2] "Iec 61000-4-30:2015," 2015.
- [3] Bień, *Metrologia jakości energii elektrycznej w obszarze niskoczęstotliwościowych zaburzeń napięcia sieci*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo - Dydaktyczne AGH, 2003.
- [4] Bień, Chmielowiec, Firlit, Hanzelka, Kołek, Piątek, Rogóż, Woźny, "Piknik jakości energii elektrycznej - raport z eksperymentu pomiarowego," 2015.
- [5] Chwaleba, Poniński, Siedlecki, *Metrologia elektryczna*, 2014.
- [6] Doliński, "Warto spróbkować, część 2," *Elektronika Praktyczna*, 10/2006.
- [7] —, "Warto spróbkować, część 1," *Elektronika Praktyczna*, 9/2006.
- [8] M. Integrated. (2010) Max295 datasheet. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX291-MAX296.pdf>
- [9] Lyons, *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2010.
- [10] Microchip. (2012) 23lcv1024 datasheet. [Online]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25156A.pdf>
- [11] Sroka Zatorski, *Pomiary w telekomunikacyjnych łączach analogowo-analogowych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo - Dydaktyczne AGH, 2004.
- [12] —, *Podstawy metrologii elektrycznej*. Wydawnictwa AGH, 2011.