

XXII Seminarium

ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2012

Oddział Gdański PTETiS

Referat nr 26

## SYSTEM MONITOROWANIA WYŁADOWAŃ ESD

Jacek PASTEWSKI<sup>1</sup>, Stanisław GALLA<sup>2</sup>

1. tel: 790 269 335

e-mail: jacek.pastewski@vp.pl

2. Miejsce pracy

Katedra Metrologii i Optoelektroniki, Politechnika Gdańska

tel: (58) 347 17 37

fax: (58) 341 61 32

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

**Streszczenie:** Występowanie wyładowań elektrostatycznych prowadzi do powstawania bardzo dużych strat w produkcji lub serwisie w przypadku jego uszkodzenia. W niektórych przypadkach konieczne jest monitorowanie jego występowania w strefie (obszarze) chronionej. W artykule przedstawiono prowadzone prace nad systemem wykrywania wyładowań elektrostatycznych opartym o odbiór i analizę sygnału emisji elektromagnetycznej powstającego w momencie jego wystąpienia. Przedstawiono uzyskane wyniki z badań oraz zrealizowany na ich podstawie układ detekcji wykrywania wyładowań elektrostatycznych.

**Słowa kluczowe:** ESD, monitorowanie, pomiary.

### 1. WPROWADZENIE

Gwałtowna miniaturyzacja i masowość wprowadzanych rozwiązań urządzeń elektronicznych wpływa w znaczący sposób na ich odporność na wyładowania elektrostatyczne (ESD). Mimo iż obecnie większość układów jest wyposażana w elementy ochrony elektrostatycznej, uszkodzenia spowodowane przez ESD nadal stanowią wysoki procent uszkodzeń urządzeń. Nie jest to spowodowane wzrostem liczby wyładowań a raczej miniaturyzacją powodującą, iż energia potrzebna do zniszczenia danego układu elektronicznego zdecydowanie zmalała w ostatnim okresie [1]. Prowadzone prace konstrukcyjne integrują obecnie w większości układów szybkie diody ochronne na wejściach komponentów elektronicznych, jednakże kompleksowe podejście do ochrony przed występowaniem wyładowań elektrostatycznych szczególnie w fazach produkcyjnych obejmuje nie tylko konstrukcję urządzenia, ale również szeroko pojętą ochronę strukturalną obejmującą również procesy produkcyjne oraz szkolenia pracowników. W wielu przypadkach wskazane jest dysponowanie informacją o występowaniu wyładowań elektrostatycznych w danym obszarze chronionym, pozwala to na monitorowanie podejmowanych działań zapobiegawczych. Przykładem wspomagającego elementu kontroli środków ochrony elektrostatycznej jest przedstawiany w dalszej części referatu układ monitorowania wyładowań elektrostatycznych.

### 2. WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

Powstawanie ładunku elektrostatycznego związane jest z procesami fizykochemicznymi polegającymi na tarcu, rozdrabnianiu, rozpylaniu i gwałtownym rozdzielaniu lub łączeniu nieprzewodzących, albo doskonale izolowanych ciał stałych, ciekłych i gazowych nosi nazwę efektu tryboelektrycznego. Przy znacznych napięciach elektrostatycznych i odpowiednio dużych pojemnościach gromadzi się energia ( $W_c$ ), którą można określić według zależności (1):

$$W_c = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad (1)$$

gdzie: C – pojemność obiektu, U – napięcie.

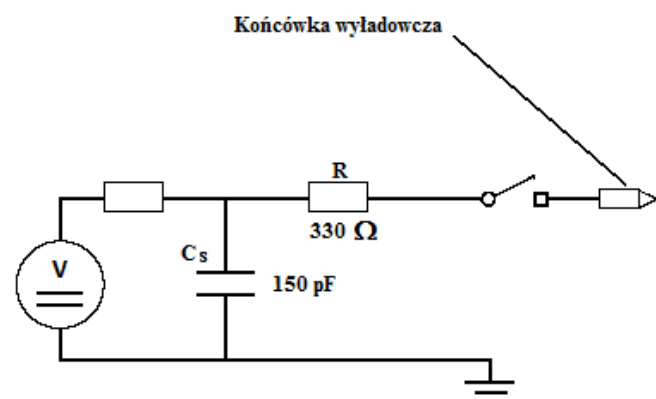
W wyniku przebadania różnorodnych materiałów powstał szereg tryboelektryczny określający miejsce zajmowane przez dany materiał w stosunku do innych pod względem podatności na gromadzenie się ujemnego lub dodatniego ładunku [1], [2]. W szeregu tryboelektrycznym neutralną pozycję zajmuje bawełna; materiały takie jak papier, aluminium, jedwab, ołów, wełna, nylon, szkło, skóra na dłoniach człowieka ładują się dodatnio (tzn. łatwiej tracą elektrony), natomiast: stal, drewno, guma twarda, nikiel, miedź, mosiądz, srebro, złoto, poliestry, polietylen, polipropylen, polichlorek winylu, krzem, politetrafluoroetylen (teflon), ładują się ujemnie (łatwiej odbierają elektrony od innych materiałów). Ładunek elektrostatyczny powstaje również w wyniku indukcji elektrostatycznej, polegającej na polaryzacji dielektryka znajdującego się w polu elektrycznym. W trakcie elektryzacji danego ciała równocześnie zachodzą procesy gromadzenia jak i odpływu ładunków, których bilans zależy od właściwości elektrycznych materiału i jego izolacji doziemnej. Przy małej powierzchni danego ciała prąd upływu jest niewielki i ładunek elektryczny na jego powierzchni może osiągnąć duże wartości, powodując powstanie pola elektrostatycznego o znacznym natężeniu. Gromadzący się ładunek może oddziaływać niekorzystnie w sposób pośredni, gdyż wytworzone wokół niego pole

elektrostatyczne może w niekontrolowany sposób wpływać przyspieszająco lub hamująco na występujące bądź poruszające się naładowane cząstki innych materiałów, powodując osadzanie się na naładowanych powierzchniach cząstek pyłów, dymu, lub kurzu [1], [3]. Zjawisko to znalazło zastosowanie w układach elektrofiltrów, gdzie służy do zmniejszenia emisyjności pyłów do atmosfery. Największe jednak zagrożenie dla urządzeń elektronicznych niesie z sobą wystąpienie wyładowania elektrostatycznego (ang. ESD – electrostatic discharge) wskutek wytworzenia się wystarczająco dużej różnicy potencjałów pomiędzy naładowanym obiektem a otoczeniem. W trakcie takiego wyładowania następuje w czasie kilkunastu nano - sekund przepływ bardzo dużego prądu chwilowego. Podczas wyładowania przy przeskoku iskry (tzw. wyładowanie przez powietrze) występuje promieniowanie elektromagnetyczne o znacznym natężeniu oraz paśmie częstotliwości do  $10^7 \dots 10^8$  Hz. Prowadzone pomiary wykazały iż typowa średnia pojemność np.: człowieka zależy od odległości między ciałem a uziemionymi przedmiotami i podłożem. Przy grubości podeszwy buta 5 - 10 mm pojemność ta zwykle mieści się w przedziale  $C \sim 70$  pF do 250 pF [1], [4]. W prowadzonych pracach wykorzystywano model zakładający pojemność zgodną z wymaganiami normalizacyjnymi [5] a zakładający pojemność człowieka na poziomie  $C = 150$  pF oraz rezystancji wynoszącej  $R=330$ .

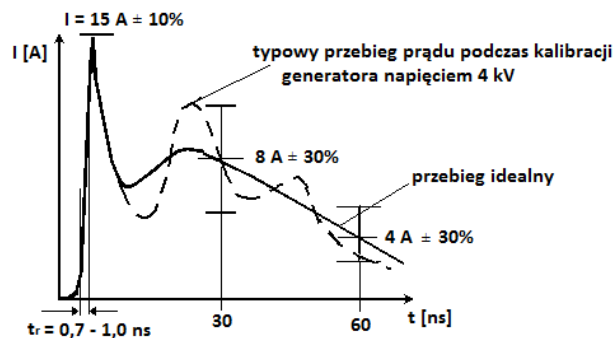
### 3. BADANY UKŁAD

#### 3.1. Układ wytwarzania wyładowań ESD

Do wytwarzania wyładowań elektrostatycznych wykorzystywano generator wyładowań elektrostatycznych ESD - 30C firmy EMtest z układem rozładowczym impulsu przez pojemność  $C_s = 150$  pF i rezystancję  $R = 330 \Omega$  zapewniającym zgodność z wymaganiami normy [5]. Schemat zastępczy generatora przedstawiono na rysunku 1 na rysunku 2 typowy kształt impulsu prądowego uzyskiwanego podczas wzorcowania z końcówką stykową. Wyładowania z generatora przykładano do metalowej płaszczyzny za pomocą końcówki do wyładowań powietrznych. Odległość końcówki zadającej była zmienna i zależała od nastawianych wartości napięcia na układzie generatora ESD. Badania wykonywano dla napięć o wartościach 1 kV, 5 kV, 10 kV, 20 kV oraz 25 kV w seriach po 10 udarów.



Rys. 1. Schemat zastępczy generatora [5]



Rys. 2. Przebieg udaru prądowego podczas wyładowania stykowego [5]

#### 3.2. Układ wstępnego monitorowania wyładowań ESD

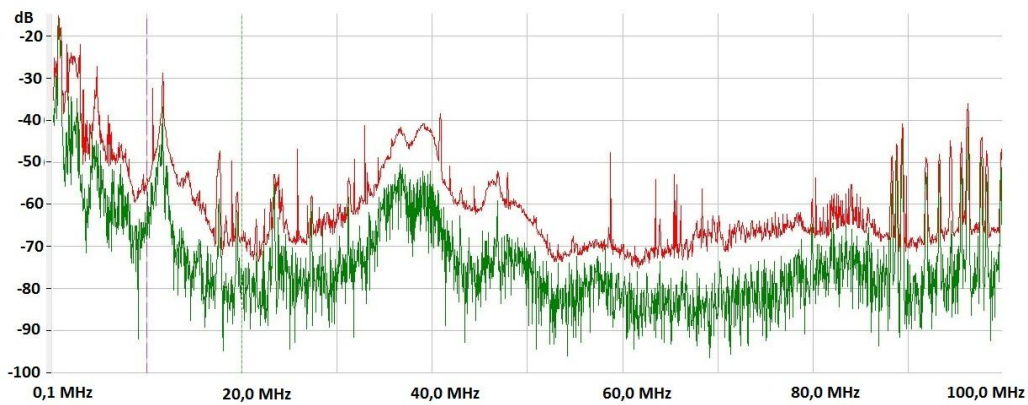
Wstępne pomiary emisji przeprowadzono za pomocą analizatora widma Hameg HM5014-2 współpracującego z sondami pola bliskiego HZ5030-E (dla pola elektrycznego) i HZ530-M (dla pola magnetycznego) zamontowanych w odległości około 4 m od układu wytwarzającego zaburzenia. Pomiary wykonywano przy włączonej funkcji Max-Hold. Przed wykonaniem pomiarów, podczas zadawania udarów ESD wykonywano pomiary tła w celu oszacowania jego wartości.

### 4. POMIARY WIDMA IMPULSOW ESD

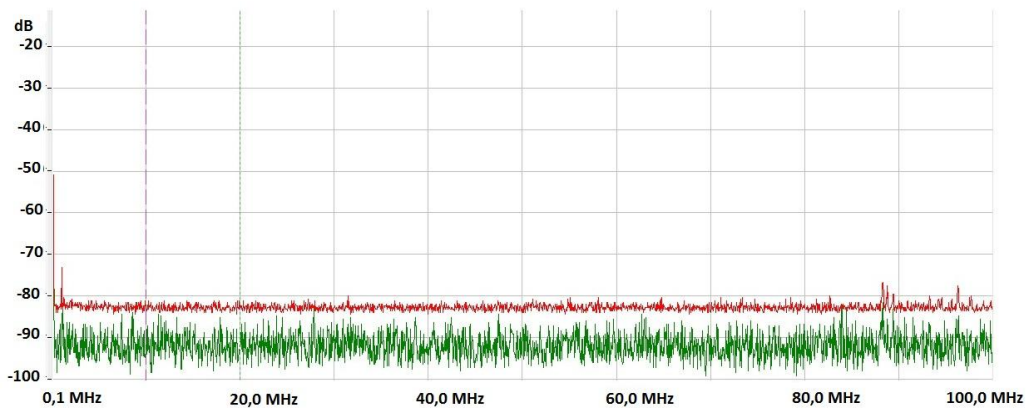
Na rysunkach 3 ÷ 6, przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów pola elektrycznego i magnetycznego dla pasma pomiarowego od 0,1 MHz do 100 MHz. Wykonywano również w wyższych zakresach częstotliwości do 1 GHz, lecz nie są one prezentowane w niniejszym referacie. Kolor czerwony na rysunkach 3 ÷ 6 oznacza maksymalne wartości mierzonej składowej elektrycznej lub magnetycznej zarejestrowane podczas trwania próby, natomiast kolor zielony reprezentuje wartość bieżącą zarejestrowaną w momencie zakończenia badania. Zaprezentowane wyniki odnoszą się dla 2 poziomów napięć wyładowania ESD przy wartościach napięcia wyładowania wynoszącym: 1 kV i 10 kV.

### 5. UKŁAD POMIAROWY I WYNIKI POMIARÓW

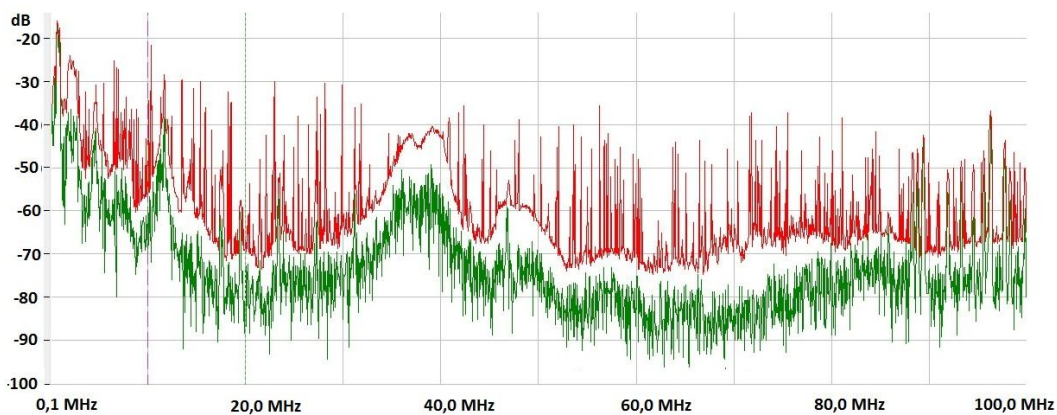
Na podstawie pomiarów wstępnych przedstawionych w pkt. 4 i w celu uproszczenia konstrukcji systemu monitorowania zdecydowano się na wybór pasma detekcji występowania wyładowań elektrostatycznych w zakresie 40 MHz do 80 MHz. Poniżej na rysunku 7 przedstawiono schemat ideowy układu detekcyjnego opracowanego na podstawie systemów wykrywania wyładowań atmosferycznych [6] współpracującego z układem analizy opartym o mikrokontroler typu ATmega 8. Wstępne pomiary wskazywały, że spełnione zostały podstawowe założenia konstrukcji. Na rysunkach 8 oraz rysunku 9 przedstawiono odpowiednio zarejestrowany przez układ pojedynczy impuls ESD o napięciu 25 kV oraz serię 10 impulsów o tym samym napięciu



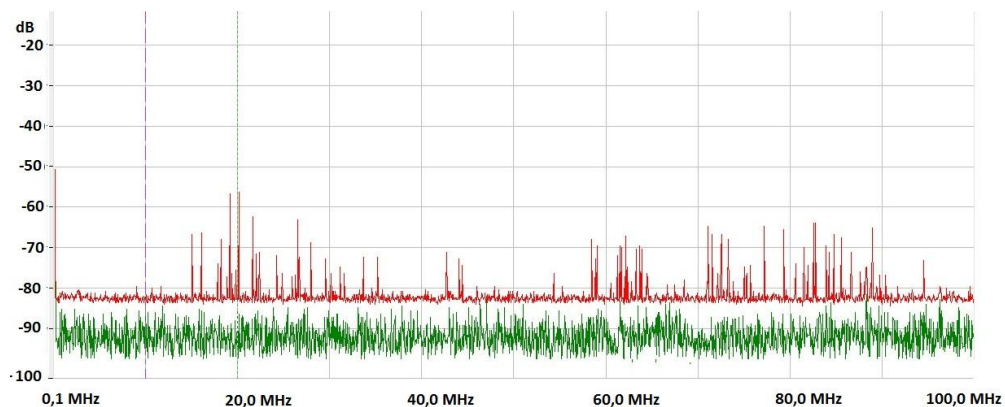
Rys. 3. Zarejestrowana składowa elektryczna dla pasma 0,1 MHz - 100 MHz przy napięciu wyładowania ESD +1 kV



Rys. 4. Zarejestrowana składowa magnetyczna dla pasma 0,1 MHz - 100 MHz przy napięciu wyładowania ESD +1 kV



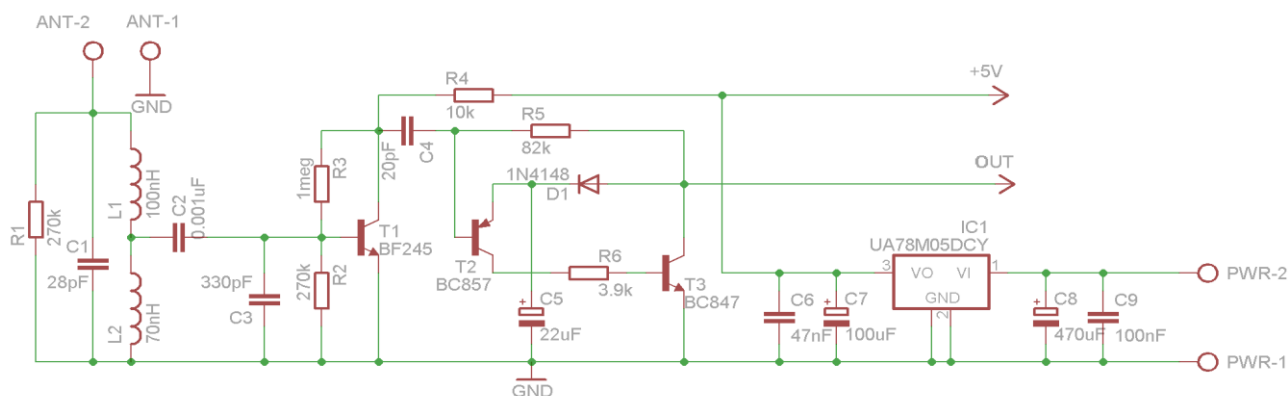
Rys. 5. Zarejestrowana składowa elektryczna dla pasma 0,1 MHz - 100 MHz przy napięciu wyładowania ESD +10 kV



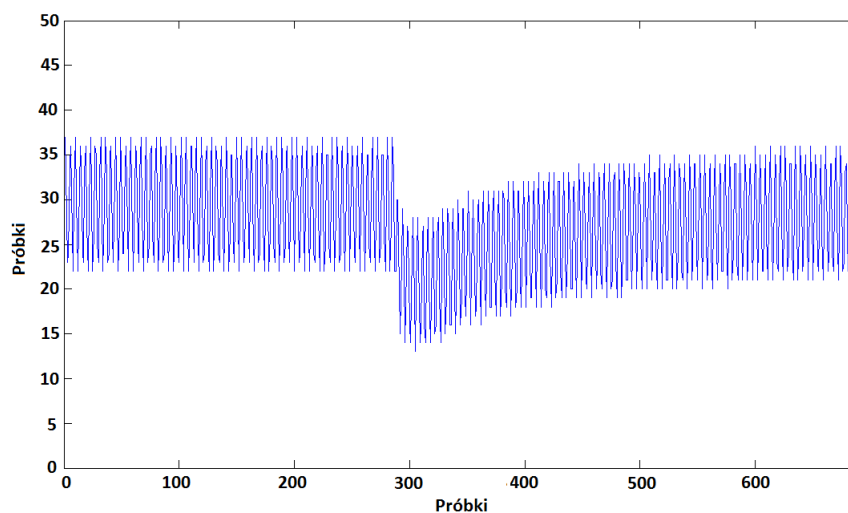
Rys. 6. Zarejestrowana składowa magnetyczna dla pasma 0,1 MHz - 100 MHz przy napięciu wyładowania ESD +10 kV

Poziom zmian rejestrowanego przebiegu zależy w dużym stopniu od napięcia wyładowania. W przypadku napięć niższych niż 10 kV wyładowania są bardzo słabo lub w ogóle nie widoczne, natomiast o poziomie 15 kV wwyż zarejestrowane wyładowania są jednoznacznie i skutecznie wykrywane przez układ. Dodatkowo układ dzięki współpracy z mikrokontrolerem oraz oprogramowaniem umożliwia analizę odbieranego sygnału, a także na jej podstawie dokonującą automatycznej detekcji wyładowań ESD. Program napisany został w języku C# w środowisku Microsoft Visual Studio 2010. Program komunikuje się z układem poprzez port RS-232. Mikrokontroler ATmega 8 każdorazowo po dokonaniu pomiaru napięcia na wyjściu układu detekcji wysyła tę wartość na port UART. Program

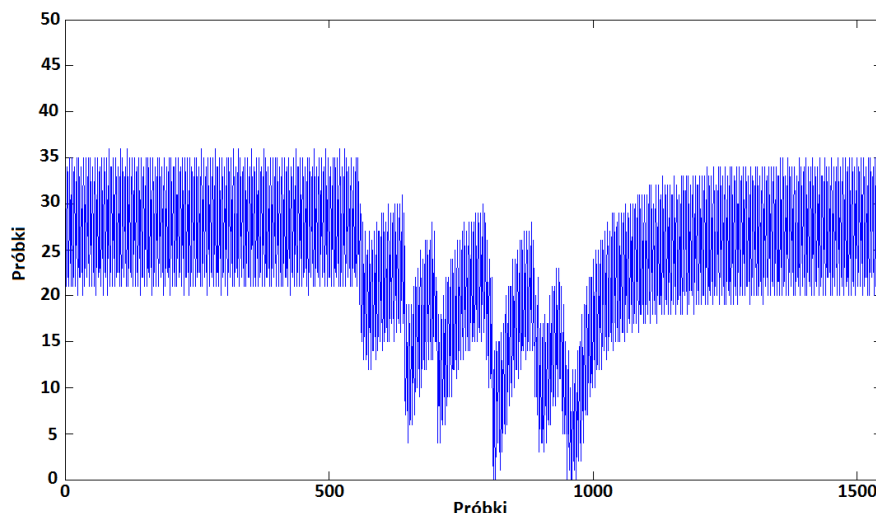
na bieżąco wykreśla odbierane wartości, a także ich średnią krocząco. Na podstawie porównania średnich obliczonych dla ostatnich 1000 odebranych próbek oraz ostatnich ok. 40 próbek dokonywana jest detekcja wyładowania. Jeśli wyliczone średnie różnią się dostatecznie, oznacza to, że nastąpiło zakłócenie pola elektromagnetycznego przez wyładowanie ESD. Informacja o detekcji wyładowania pojawia się w oknie głównym programu, a czas wystąpienia zaburzenia zapisywany jest w pliku. Użytkownik ma możliwość automatycznego zapisywania do pliku rejestracji lub jedynie informacji o momencie uruchomienia i zakończeniu rejestracji i zarejestrowanych momentach wykrycia wyładowań



Rys. 7. Schemat wykonanego układu detekcji wyładowań ESD



Rys.8. Rejestracja pojedynczego impulsu ESD o napięciu wyładowania 25 kV



Rys.9. Rejestracja serii 10 impulsów ESD o napięciu 25 kV

## 6. WNIOSKI KOŃCOWE

Celem prowadzonych prac było stworzenie systemu monitorowania i detekcji wyładowań ESD. Po wykonaniu wstępnych badań widma impulsów ESD zdecydowano się na wykonanie układu pracującego w zakresie częstotliwości 40 – 80 MHz. Zaprojektowano schemat układu, a także dokonano jego symulacji (nie przedstawionych w referacie). Na tej podstawie zaprojektowano układ monitoringu i detekcji wyładowań ESD, który łącznie z dedykowanym do niego oprogramowaniem stworzył system monitorowania wyładowań elektrostatycznych. Badania z użyciem zrealizowanego systemu wykazały, iż jest on w stanie skutecznie dokonać detekcji wyładowań ESD dla zadawanych napięć o wartości powyżej 15 kV. Detekcja wyładowań dla poziomów napięć powyżej 15 kV jest skuteczna zarówno dla pojedynczych wyładowań jak i dla serii impulsów elektrostatycznych. W wyniku prowadzonych prac nad dalszym rozwojem systemu zakłada się zastosowanie dodatkowego stopnia wzmacniającego w układzie detekcyjnym w celu wykrywania wyładowań o niższych poziomach (poniżej 15 kV). Dodatkowo rozpatruje się wykonanie modułu komunikacji sieciowej który współpracując z urządzeniem umożliwiłby zdalne monitorowanie danego obszaru chronionego wyładowaniami.

W obecnej konfiguracji powstały system może wspomagać ochronę przed wyładowaniami ESD w obiektach i przestrzeniach wymagających ścisłej kontroli.

## THE ESD DISCHARGE MONITORING SYSTEM

**Key words:** EMC, ESD discharges, detection

### Abstract

The occurrence of electrostatic discharge can lead to very large losses in production or service of electronic equipment. In case of special production ESD can even lead to serious accidents. Phenomenon of electrostatic discharge (ESD) is related to such physicochemical processes like friction, grinding, spraying and rapid separation or combining of non-conductive, or well-insulated solid, liquid and/or gas. In some cases it is necessary to monitor continuously the protected zone. This article presents ongoing work on electrostatic discharge detection system based on the collection and analysis of electromagnetic emission signal appearing at the time of ESD occurrence. The paper presents the results of research and realized on the basis of them electrostatic discharge detection system.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Hasse L., Kołodziejcki J., Konczakowska A., Spiralski L., „Zakłócenia w aparaturze elektronicznej”, Radioelektronik sp. z o. o., Warszawa 1995, ISBN 83-858910-1-3.
2. Ruszel P., „Kompatybilność elektromagnetyczna elektronicznych urządzeń pomiarowych”, Oficyna Wydawnicza Politechnik Wrocławskiej, Wrocław 2008, ISBN 978-83-7493-423-7.
3. Korcz K., Spiralski L., Wiegand J., „Zakłócenia elektromagnetyczne na statkach morskich”, Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Gdynia 2001, ISBN 83-87875-77-5
4. Morgan D. „A handbook for EMC testing and measurement”, The Institution on Engineering and Technology, London 2007, ISBN 978-0-86341-756-6
5. PN-EN61000-4-2:2011 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 4-2: Metody badań i pomiarów - Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne
6. <http://www.techlib.com/electronics/lightning.htm>

