

## Iskrobezpieczeństwo a kompatybilność elektromagnetyczna – wybrane zagadnienia

*Systemy i urządzenia iskrobezpieczne muszą spełniać odpowiednie wymagania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Jednoczesne zapewnienie iskrobezpieczeństwa oraz kompatybilności elektromagnetycznej sprawia często wiele trudności i pociąga za sobą konieczność realizowania nieraz sprzecznych ze sobą zaleceń. Możliwości stosowania powszechnie znanych i dostępnych środków czy rozwiązań pozwalających spełnić warunki EMC w urządzeniach i systemach iskrobezpiecznych są przeważnie znacznie ograniczone. Niektóre rozwiązania są jednak korzystne zarówno dla uzyskania iskrobezpieczeństwa, jak też dla zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej. W artykule opisano odniesienie do szeregu wymogów i ograniczeń narzucanych projektantowi urządzeń przeznaczonych do pracy w atmosferach wybuchowych przez normy przedmiotowe zgodne z dyrektywami 94/9/WE: ATEX [1] i 2004/108/WE: EMC [2]. Omówiono wybrane problemy występujące w urządzeniach iskrobezpiecznych przy spełnianiu wymagań norm zharmonizowanych dyrektywą EMC.*

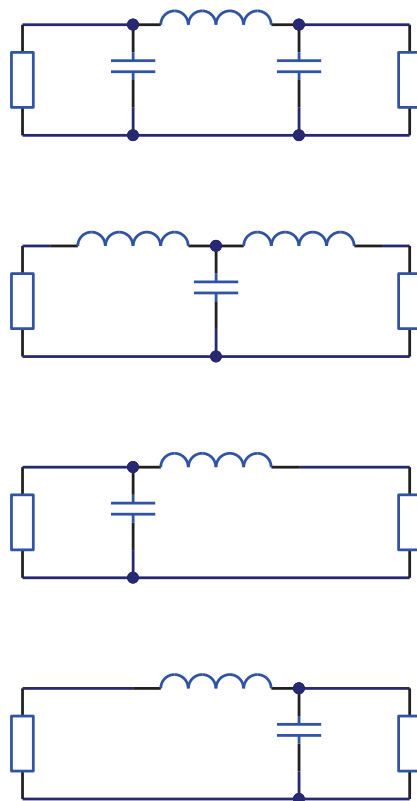
### 1. STOSOWANIE ELEMENTÓW LC A KONIECZNOŚĆ OGRANICZANIA WARTOŚCI POJEMNOŚCI I INDUKCYJNOŚCI

---

W przypadku urządzeń nieiskrobezpiecznych panuje znaczna dowolność w doborze elementów LC (np. w układach filtrów przeciwzakłóceńowych czy obwodach przetwornic impulsowych) w celu zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej, a ewentualne ograniczenia są podyktowane najczęściej czynnikami natury technicznej czy też ekonomicznej. Natomiast w przypadku urządzeń iskrobezpiecznych decydującym czynnikiem ograniczającym są wymagania iskrobezpieczeństwa. Ograniczenia w stosowaniu odpowiednio dużych wartości pojemności i indukcyjności powodują na przykład, że podczas narażeń zaburzeniami przewodzonymi o częstotliwości radiowej większość nieprawidłowości w działaniu urządzeń ma miejsce przy niskich częstotliwościach narażenia – od częstotliwości rzędu kilkuset kHz do

kilku MHz. Jest to potwierdzone wynikami licznych badań konstruktorskich, przeprowadzanych na etapie opracowywania urządzeń iskrobezpiecznych. Filtry złożone z elementów LC o niższych wartościach pojemności i indukcyjności są dla wyższych częstotliwości narażenia przeważnie bardziej skuteczne i spełniają swoje zadanie.

Bardzo istotny jest dobór topologii filtru do układu, ponieważ każda z nich sprawdza się w innych warunkach. W szczególnych przypadkach zastosowane elementy LC mogą zatem okazać się zbędne, pogarszając tylko niepotrzebnie parametry iskrobezpieczeństwa. W stosunku do układu RC układ LC charakteryzuje się znacznie lepszymi parametrami, jednak wymaga starannego doboru elementów ze względu na możliwość wystąpienia rezonansu. Ogólnie w przypadku filtrów dolnoprzepustowych szeregową indukcyjność (ewentualnie rezystancja) stosowana jest od strony niskich impedancji źródła lub obciążenia, a równoległa pojemność stosowana jest od strony wysokich impedancji źródła lub obciążenia.



Rys. 1. Zalecana topologia filtrów w zależności od impedancji źródła i obciążenia [3]

Należy mieć jednak na względzie możliwą znaczną zmienność tych impedancji. Bardzo istotne jest także stosowanie właściwych filtrów dla danych rodzajów zaburzeń: symetrycznych lub asymetrycznych. Filtry dla zaburzeń symetrycznych mają różną budowę od filtrów dla zaburzeń asymetrycznych: decydujące znaczenie ma sposób nawinięcia i wzajemne kierunki zwojów cewek oraz miejsce dołączenia kondensatorów [3].

Stosowanie większych wartości pojemności w układach zasilających pozwalałoby zapewnić kompatybilność elektromagnetyczną, co stoi jednak w sprzeczności z koniecznością ograniczenia pojemności wewnętrznej urządzeń iskrobezpiecznych [4]. W przypadku stosowania impulsowych układów zasilania przy wyższych częstotliwościach pracy tych układów możliwe jest stosowanie elementów o niższych wartościach indukcyjności i pojemności.

## 2. REZYSTANCJA SZEREGOWA W FILTRACH RC

Ze względów opisanych w poprzednim punkcie w urządzeniach iskrobezpiecznych bardziej zalecane jest stosowanie np. filtrów RC zamiast LC, co skutkuje dodatkową korzyścią dla iskrobezpieczeństwa

w postaci rezystancji szeregowej. Ze względu na spadek napięcia na szeregowej rezystancji istotnym czynnikiem jest w takim przypadku jak najmniejszy pobór prądu. Ponadto układ RC posiada w stosunku do układu LC bardziej pewne i przewidywalne, choć gorsze, parametry ze względu na brak występowania rezonansu. Rozwiązanie to możliwe jest do stosowania zarówno w liniach zasilających, jak również w sygnałowych – w zależności od standardu, parametrów czy też dopuszczalnych ograniczeń tych parametrów (np. ograniczenia pasma częstotliwości, zmniejszenia maksymalnej szybkości i/lub zasięgu transmisji czy też możliwej liczby łączonych urządzeń). W celu ograniczenia prądów i mocy w urządzeniach iskrobezpiecznych rezystancja szeregowa jest niezbędna, jak również ma korzystny wpływ na kompatybilność elektromagnetyczną. Ponadto stosowanie filtrów RC jest ogólnie zalecane również z tego powodu, że obecność rezystancji umożliwia wydzielenie się na niej mocy zaburzeń, natomiast filtr LC jest dla zaburzenia jedynie elementem blokującym [5], stanowiącym dla niego niedopasowanie impedancji i nieumożliwiającym wytracenia energii zaburzenia. W przypadku dużego poboru prądu możliwość stosowania filtrów RC jest ograniczona. Filtry te stosowane są do zasilania, wejść analogowych albo cyfrowych, szeregowych, różnicowych interfejsów zewnętrznych urządzeń (np. CAN, RS-485).

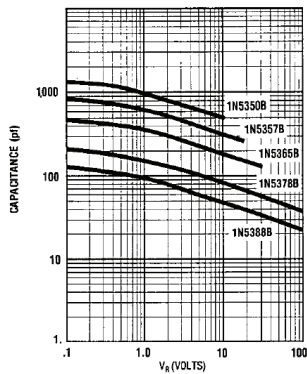


FIGURE 3  
Typical Capacitance vs.  
Reverse Voltage for 5 Watt Zeners

Rys. 2. Z karty katalogowej 1N5333 [6]

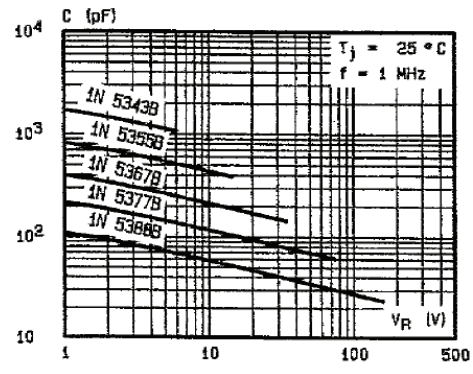


Fig.4 - Capacitance versus reverse  
applied voltage.

Rys. 3. Z karty katalogowej 1N5333 [7]

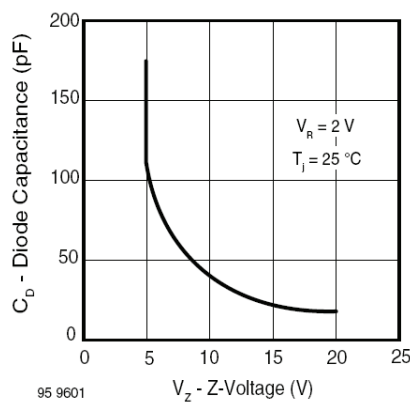


Figure 4. Diode Capacitance vs. Z-Voltage

Rys. 4. Z karty katalogowej BZM55 [8]

W niektórych przypadkach wprowadzenie dodatkowej rezystancji szeregowej może jednak obniżyć odporność urządzenia na zaburzenia elektromagnetyczne. Wprowadzanie dodatkowej szeregowej rezystancji (ewentualnie wraz z równoległymi diodami Zenera) jest często stosowane w obrębie jednego urządzenia w celu rozdzielania jego różnych obwodów (np. obwodu głównego od obwodu interfejsu szeregowego). Dodatkowa rezystancja tworzy wraz z pojemnościami wejściowymi układów scalonych oraz pojemnościami diod Zenera układy RC mające nieraz istotny wpływ na przebiegi sygnałów oraz odporność na zaburzenia sygnałów o zniekształconych przebiegach. Przykładowe wartości rezystancji stosowanych w liniach komunikacji szeregowej CMOS wynoszą: 1 kΩ – 2,2 kΩ. Wartość pojemności diod Zenera zmienia się w bardzo szerokim zakresie i zależy od typu diody, znamionowego napięcia Zenera oraz od napięcia (w kierunku wstecznym) na diodzie. Minimalne wartości przekraczają jednak 100 pF dla pojedynczej diody. Dodatkowym utrudnieniem dla oszacowania wielkości pojemności wnoszonej przez zastosowane diody Zenera jest często brak odpowiednich charakterystyk w ich

kartach katalogowych. Tylko niektórzy producenci zamieszczają charakterystyki dotyczące pojemności diod Zenera (rys. 2, 3 i 4).

Korzystną cechą tego rozwiązania jest fakt, że diody Zenera o małej mocy znamionowej (np. BZM55) charakteryzują się mniejszą pojemnością. W rozwiązaniach iskrobezpiecznych stosowane są one wraz z szeregowymi rezystorami o dużej wartości rezystancji, co w połączeniu z małą pojemnością nie zwiększa tak bardzo stałej czasowej (rys. 4). Niestety, dla danego typu diody Zenera czym niższe jest napięcie Zenera, tym większa jest pojemność diody, a w iskrobezpiecznych aplikacjach jednak zdecydowanie przeważają diody Zenera o niskich napięciach, a więc większych pojemnościach (rys. 2, 3 i 4).

Stosowanie rezystorów szeregowych przed układami zasilania zrealizowanymi w oparciu o stabilizatory liniowe jest korzystne także z innych względów: pozwala wytracić część mocy na rezystorze zamiast na samym elemencie półprzewodnikowym stabilizatora. Umożliwia to szerszy wzajemny dobór rozwiązań i parametrów (zakres zmian napięcia zasilania, zakres zmian pobieranego prądu, parametry znamionowe zastosowanych elementów). W od-

niesieniu do kompatybilności elektromagnetycznej zaletą układów liniowych jest to, że one same wnoszą tylko szum, nie generują natomiast zaburzeń typowych dla układów impulsowych, co ułatwia spełnienie wymagań dotyczących emisji oraz korzystnie wpływa na kompatybilność wewnętrzną urządzeń. Natomiast w przypadku stosowania impulsowych układów zasilających szeregową rezystancja przed takimi układami wydatnie ogranicza ich sprawność, a więc tę właściwość, dla której są one stosowane [9]. W przypadku urządzeń iskrobezpiecznych układy zasilające przenoszą zwykle niewielkie moce, jednak stosując impulsowe układy zasilania, należy szczególnie mieć na względzie wymagania dotyczące emisji, ale także wewnętrzną kompatybilność urządzenia, zwłaszcza w przypadku układów analogowych. Dodatkowe utrudnienie przy stosowaniu impulsowych układów zasilających wynika już z samej istoty ich działania i przetwarzania mocy, wiąże się ono z tym, że przykładowo równoległe ograniczniki napięcia w postaci diod Zenera na wyjściu takiego układu muszą być dobrane dla takiej samej mocy, jaka doprowadzana jest do wejścia, albo powinny posiadać dodatkowy bezpiecznik. W każdym przypadku jest to jednak związane z pewnymi utrudnieniami.

### 3. EKRANOWANIE I UZIEMIENIE

Wiele rozwiązań możliwych do zastosowania w urządzeniach nieiskrobezpiecznych nie może być bezpośrednio zastosowanych w przypadku urządzeń iskrobezpiecznych. Również podczas badań konstruktorskich zakres możliwości eksperymentalnego poszukiwania odpowiedniego rozwiązania jest poważnie zawężony. Pod tym względem możliwości np. podłączania ekranu ograniczone są ściśle do wymagań norm dotyczących iskrobezpieczeństwa i z tego względu nie można zastosować niektórych rozwiązań, które w szczególnych przypadkach mogłyby poprawić kompatybilność elektromagnetyczną. Na rynku występuje bardzo dużo różnych materiałów mających na celu poprawienie szczelności ekranowania pomiędzy np. oddzielnymi elementami obudowy albo samej powierzchni obudowy. Występują one w postaci bardzo różnorodnych profili, taśm, folii, a także powłok: np. farb, lakierów. Nie zawsze jednak możliwe jest ich stosowanie w urządzeniach iskrobezpiecznych ze względu na użyte do ich wytworzenia materiały. Także realizując wymagania dotyczące obudów urządzeń iskrobezpiecznych [10] (choćby te związane z zapewnieniem odpowiedniego stopnia ochrony obudowy IP), można napotkać trudności przy

realizacji dobrych własności ekranujących, np. ze względu na uszczelki, które oddzielają galwanicznie poszczególne elementy obudowy. Dla ekranowania pól o niskiej częstotliwości mających charakter magnetyczny, typowych dla środowiska o niskiej impedancji, należy stosować duże ilości materiału magnetycznego metalowego. Fala wnikaćca w materiał powoduje powstawanie prądów wirowych w jego grubej warstwie, która pozwala na skuteczne tłumienie. Dla ekranowania pól o wysokiej i bardzo wysokiej częstotliwości mających charakter elektryczny, typowych dla środowiska o wysokiej impedancji, należy stosować materiały o jak najlepszej przewodności elektrycznej powierzchni. Prądy wielkiej częstotliwości przepływają wtedy po powierzchni ekranu. W przypadku konieczności tłumienia obu rodzajów pól należy stosować zarówno odpowiednią ilość materiału, jak również jego odpowiednią powierzchnię [3].

Zgodnie z punktem 9. normy PN-EN 60079-25 [11] obwód iskrobezpieczny powinien być izolowany od ziemi albo połączony tylko w jednym punkcie z potencjałem odniesienia, związanym z przestrzenią zagrożoną. Norma [11] określa, że w przypadku więcej niż jednego połączenia z ziemią jest to dozwolone w obwodzie pod warunkiem, że obwód jest galwanicznie rozdzielony na podobwoły, z których każdy ma tylko jeden punkt uziemienia. Według tej normy [11] ekrany powinny być połączone z ziemią lub konstrukcją obiektu. Wymagane jest, aby w dokumentacji systemu było jednoznacznie określone, który punkt lub które punkty systemu przeznacza się do połączenia z potencjałem odniesienia instalacji. W praktyce konstruktorskiej pod względem kompatybilności elektromagnetycznej w zależności od konkretnego przypadku lepiej mogą się sprawdzić takie warianty połączeń, które nie są dozwolone normą [11]. Wymogi tej normy [11] stoją w sprzeczności z zaleceniem, aby dla tłumienia zaburzeń promieniowanych ekrany kabli uziemiać obustronnie [3, 5]. W przypadku stosowania kabla/przewodu typu A zgodnie z punktem 12.2.2.8 PN-EN 60079-14 [12], w którym ekrany przewodzące zapewniają indywidualną ochronę obwodów iskrobezpiecznych, zabezpieczając te obwoły od zwarć między sobą, ekrany te muszą posiadać pokrycie nie mniejsze niż 60% powierzchni. Rozwiązanie takie ułatwia zapewnienie EMC.

### 4. SEPARACJA

Separacja galwaniczna stosowana wyłącznie dla spełnienia wymogów iskrobezpieczeństwa może okazać się pomocna również dla zapewnienia kom-

patybilności elektromagnetycznej, ograniczając propagowanie się zaburzeń zarówno pomiędzy urządzeniami wchodzącymi w skład systemu, jak też w obrębie pojedynczego urządzenia. W przypadku zaistnienia takiej potrzeby pod warunkiem zachowania iskrobezpieczeństwa możliwe jest zastosowanie dodatkowej separacji, wprowadzonej wyłącznie w celu zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej. Za formę separacji galwanicz-

nej można uznać transmisję światłowodową, której odporność na zaburzenia elektromagnetyczne stanowi wielką zaletę. Należy w takim przypadku mieć na względzie konieczność spełnienia wymagań PN-EN 60079-28 [13], np. ograniczenie mocy wypromieniowanej światłowodem. W tabeli 1. zebrano własności różnych metod separacji z uwzględnieniem aspektów kompatybilności elektromagnetycznej i iskrobezpieczeństwa.

Tabela 1

**Porównanie ograniczeń pasma częstotliwości, zastosowań, aspektów iskrobezpieczeństwa w zakresie separacji obwodów oraz aspektów EMC różnych rodzajów separacji**

Rodzaj separacji	Ograniczenia pasma częstotliwości, zastosowania	Aspekty iskrobezpieczeństwa w zakresie separacji obwodów	Aspekty EMC	Pobór energii
Sprzężenie transformatorowe	Ograniczenie przenoszonego pasma od strony niskich i wysokich częstotliwości, zastosowanie tylko dla sygnałów analogowych	Możliwość separacji zarówno obwodów iskrobezpiecznych, jak i pomiędzy iskrobezpiecznym a nieiskrobezpiecznym (możliwość zapewnienia odstępów izolacyjnych). Wprowadzenie dodatkowej indukcyjności do układu	Ogranicza propagowanie zaburzeń poprzez tłumienie składowych o częstotliwościach leżących poza pasmem przenoszenia transformatora	Brak
Sprzężenie pojemnościowe	Ograniczenie przenoszonego pasma od strony niskich i bardzo wysokich częstotliwości, zastosowanie tylko dla sygnałów analogowych	Możliwość separacji zarówno obwodów iskrobezpiecznych, jak i pomiędzy iskrobezpiecznym a nieiskrobezpiecznym (możliwość zapewnienia odstępów izolacyjnych). Wprowadzenie dodatkowej pojemności do układu	Ogranicza propagowanie zaburzeń o niskich częstotliwościach	Brak
Transoptor	Ograniczenie przenoszonego pasma od strony wysokich częstotliwości, zastosowanie zwykle dla sygnałów dwustanowych (konieczność kompensowania nieliniowości dla sygnałów analogowych)	Możliwość separacji zarówno obwodów iskrobezpiecznych, jak i pomiędzy iskrobezpiecznym a nieiskrobezpiecznym (ograniczona możliwość zapewnienia odstępów izolacyjnych)	Bardzo dobre własności tłumienia zaburzeń w przypadku separacji sygnałów dwustanowych	Średni, możliwość ograniczenia
Izolatory cyfrowe ze sprzężeniem: indukcyjnym (iCoupler), pojemnościowym (ISO)	Ograniczenie przenoszonego pasma od strony wysokich częstotliwości, zastosowanie tylko dla sygnałów dwustanowych, z możliwością konwersji poziomów logicznych [14, 15]	Możliwość separacji jedynie obwodów iskrobezpiecznych (brak odpowiednich odstępów izolacyjnych)	Bardzo dobre własności tłumienia zaburzeń	Mały
Łącze światłowodowe	Ograniczenie przenoszonego pasma od strony wysokich częstotliwości, zastosowanie zwykle dla sygnałów dwustanowych (konieczność kompensowania nieliniowości dla sygnałów analogowych)	Możliwość separacji zarówno obwodów iskrobezpiecznych, jak i pomiędzy iskrobezpiecznym a nieiskrobezpiecznym (praktycznie dowolna możliwość realizacji odstępów izolacyjnych)	Bardzo dobre własności tłumienia zaburzeń w przypadku separacji sygnałów dwustanowych. Osiągalne minimalne sprzężenia pomiędzy separowanymi stronami ze względu na możliwość uzyskania dużych odstępów	Wysoki, Możliwość ograniczenia

## 5. POŁĄCZENIA

Ograniczone są również możliwości wyboru typu kabli i przewodów przeznaczonych do łączenia urządzeń iskrobezpiecznych w ramach systemu oraz do realizacji połączeń wewnętrznych w urządzeniach. Można stosować tylko te, które spełniają wymagania iskrobezpieczeństwa pod względem zastosowanych materiałów izolacyjnych, powierzchni przekroju przewodów, grubości izolacji, ewentualnej obecności

ekranów i struktury (PN-EN 60079-14 [12] – punkt 8. PN-EN 60079-25 [11], punkt 4.8 PN-EN 50303 [16]). Wyklucza to zastosowanie kabla albo przewodu innego typu, który w szczególnych przypadkach pozwalałoby na zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej. Wybór kabli możliwych do użycia w iskrobezpiecznych zastosowaniach jest obecnie dość szeroki, jednak zawsze ograniczony. W szczególnych, uzasadnionych przypadkach możliwe jest opracowanie odpowiedniego kabla specjalnie dla danego zastosowania, który umożliwi zapewnienie

Tabela 2

**Porównanie zakresu wymaganych badań odporności wejść/wyjść sygnałowych lub sterowania  
w zależności od dopuszczalnej długości połączenia**

Rodzaj zaburzeń	Długość połączeń		
	Poniżej 3 m	Pomiędzy 3 m a 30 m	Powyżej 30 m
Serie szybkich impulsów	—	+	+
Udary	—	—	+
Zaburzenia przewodzone RF	—	+	+

— badanie nie jest wymagane

+ badanie jest wymagane

kompatybilności elektromagnetycznej, co wiąże się jednak z oczywistymi utrudnieniami. Ponadto występuje ograniczenie długości i/lub liczby żył w kablu wielożyłowym ze względu na wprowadzaną indukcyjność i pojemność. Im dłuższe może być dopuszczalne połączenie kablowe, tym bardziej poszerza się zakres i wymagania dotyczące badań EMC [17].

Połączenia światłowodowe rozwiązują problem ograniczenia wprowadzanej pojemności i indukcyjności w obwodach iskrobezpiecznych, a badania EMC odporności i emisji w stosunku do tych połączeń nie mają odniesienia. Wymagania EMC dla połączeń narażonych na zaburzenia zalecają stosowanie przewodów ekranowanych lub tzw. skrętki zamiast pary przewodów.

## 6. KOLEJNOŚĆ BADAŃ

Przy konstruowaniu urządzeń pod względem spełnienia wymagań EMC oraz stosowaniu środków pozwalających je spełnić można wyróżnić dwie przeciwstawne tendencje. Jedna z nich polega na przeprowadzaniu wielu kolejnych zmian, a następnie badań, pozwalając w sposób eksperymentalny ustalić niezbędne minimum środków technicznych, które zapewni spełnienie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej. Druga polega na zastosowaniu *a priori* maksimum środków technicznych pozwalających spełnić wymagania EMC już podczas projektowania urządzenia pomimo tego, że wiele z nich mogłoby się okazać zbędnymi i nadmiarowymi. Pierwsza z metod prowadzi do uzyskania konstrukcji zoptymalizowanych pod względem EMC i jest praktykowana zwłaszcza przy planowanej wielkoseryjnej

produkcji danego urządzenia – jest tym bardziej opłacalna, czym większa ma być skala produkcji. Wiąże się to zawsze z większym nakładem kosztów i czasu poświęconych na badania, ale sam jednostkowy koszt wytworzenia urządzenia może być dzięki temu niższy. Druga z metod prowadzi do uzyskania konstrukcji nadmiarowych i jest charakterystyczna bardziej dla produkcji małoseryjnej czy wręcz jednostkowej, ale znacząco zwiększa szanse na spełnienie wymagań EMC bez konieczności wprowadzania kolejnych modyfikacji. Są to oczywiście skrajne tendencje, pomiędzy którymi istnieje obszar rozwiązań pośrednich. W przypadku urządzeń iskrobezpiecznych dominuje tendencja optymalizacji, zdecydowanie bardziej jednak ze względu na parametry iskrobezpieczeństwa niż na minimalizację kosztów produkcji urządzenia.

Podczas przeprowadzania konstruktorskich badań kompatybilności elektromagnetycznej istnieje możliwość ingerencji zarówno w rozwiązania, strukturę systemu lub urządzenia, jak i w same wartości i typy zastosowanych elementów. Każdy z wymienionych czynników może być związany z iskrobezpieczeństwem i jego odpowiednimi parametrami. Z tego też względu badania kompatybilności elektromagnetycznej powinny być przeprowadzane przed certyfikacją ATEX, a podczas badań należy kontrolować zakres wprowadzanych zmian, aby zawsze mieściły się one w zakładanym zakresie, narzuconym wymaganiami iskrobezpieczeństwa. W szczególnych przypadkach badania takie mogą mieć charakter iteracyjny, np. kiedy ze względu na parametry iskrobezpieczeństwa należy możliwie ograniczyć indukcyjność i/lub pojemność. Można w takim przypadku iteracyjnie dobierać strukturę połączeń i wartości elementów LC oraz przeprowa-

dzać kolejne badania aż do uzyskania wymaganej kompatybilności elektromagnetycznej przy minimalnych wystarczających do tego celu wartościach pojemności i indukcyjności. Możliwy jest oczywiście przypadek, w którym podczas certyfikacji ATEX zaistnieje konieczność wprowadzenia dalszych zmian w stosunku do wersji przebadanej już pod względem kompatybilności elektromagnetycznej, jednak sytuacja taka pozostawia większe możliwości dokonania zmian niż w odwrotnym przypadku.

## 7. PODSUMOWANIE

Każdy system i urządzenie iskrobezpieczne powinno być zaprojektowane w taki sposób, aby spełniając ściśle wymagania norm dotyczących iskrobezpieczeństwa, pozostawało jednocześnie kompatybilne elektromagnetycznie, co jednak może rzutować zarówno na same parametry iskrobezpieczeństwa (oczywiście pod warunkiem jego zachowania), jak również na parametry funkcjonalne. Jednak należy mieć na względzie, że spośród środków stosowanych dla zapewnienia iskrobezpieczeństwa nieliczne tylko poprawiają własności dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej i pogodzenie tych dwóch wymagań bywa nieraz bardzo trudne. Jeżeli jest taka możliwość, warto również wcześniej wziąć pod uwagę uzyskanie parametrów iskrobezpieczeństwa pozwalających na jak najszerszy zakres stosowania urządzenia, nawet w przypadku, kiedy projektowane jest ono pod specyficzne wymagania konkretnego systemu czy też pojedynczej aplikacji. W szczególnych przypadkach możliwe jest uzyskanie kompatybilności elektromagnetycznej również poprzez odpowiednią zmianę oprogramowania urządzenia, co może okazać się wyjątkowo pożądanym rozwiązaniem, gdyż nie wpływa ono na iskrobezpieczeństwo. Istnieje wyraźna potrzeba uwzględnienia specyfiki środowiska elektromagnetycznego występującego w podziemiach kopalń.

Rodzaje i poziomy narażeń oraz emisji powinny być odpowiednie dla tych warunków, gdyż miały miejsce przypadki trudności z uzyskaniem kompatybilności elektromagnetycznej w rzeczywistych warunkach eksploatacji urządzenia, pomimo spełnienia przez nie wszystkich wymagań podczas badań laboratoryjnych. Jest to spowodowane tym, że w kopalniach stosowane są napięcia zasilania rzędu kilku kV, a prądy mogą osiągać wartości kilkuset amperów. Zmiany wielkości powodują powstawanie silnych zaburzeń zarówno przewodzonych, jak i promieniowanych [18].

## Literatura

- 94/9/WE ATEX *Urządzenia i systemy ochronne przeznaczone do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem*.
- 2004/108/WE EMC *Kompatybilność elektromagnetyczna*.
12. Seminarium EMC ASTAT/EMAG 2007. Materiały seminaryjne ASTAT/EMAG, Katowice 25.10.2007.
- PN-EN 60079-11:2012 *Atmosfery wybuchowe*, cz. 11. *Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa "i"*. ISBN: 978-83-266-9046-4, data zatwierdzenia: 2012-02-27, data publikacji: 2012-03-05.
- Rymarski Z.: *Materiałoznawstwo i konstrukcja urządzeń elektro- nicznych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN: PLISSN0434-0825.
- Karta katalogowa serii diod Zenera 1N5333 firmy Microsemi.
- Karta katalogowa serii diod Zenera 1N5333 firmy ST.
- Karta katalogowa serii diod Zenera BZM55 firmy Vishay.
- Molenda T., Ptak K.: *Konstrukcja iskrobezpiecznych urządzeń wykorzystujących transmisję szeregową*. Materiały konferencyjne EMTECH 2010 r.
- PN-EN 60079-0:2009 *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem gazów*, cz. 0. *Wymagania ogólne*. ISBN: 978-83-251-8814-6, data zatwierdzenia: 2009-10-29, data publikacji: 2009-10-29.
- PN-EN 60079-25:2011 *Atmosfery wybuchowe*, cz. 25. *Systemy iskrobezpieczne*. ISBN: 978-83-266-7182-1, data zatwierdzenia: 2011-03-04, data publikacji: 2011-03-11.
- PN-EN 60079-14:2009 *Atmosfery wybuchowe*, cz. 14. *Projektowanie, dobór i montaż instalacji elektrycznych*, data zatwierdzenia: 2009-02-26, data publikacji: 2009-02-26.
- PN-EN 60079-28:2010 *Atmosfery wybuchowe*, cz. 28. *Zabezpieczenie urządzeń oraz systemów transmisji wykorzystujących promieniowanie optyczne*. ISBN: 978-83-266-6574-5, data zatwierdzenia: 2010-11-21, data publikacji: 2010-12-09.
- Agilent/NVE GMR Isolators-Performance Comparison to Analog Devices iCoupler® Products [online]. Dostępny w Internecie: [http://www.analog.com/static/importedfiles/product\\_highlights/5406830898840Agilent\\_NVE\\_FMR\\_IsolatorsF.pdf](http://www.analog.com/static/importedfiles/product_highlights/5406830898840Agilent_NVE_FMR_IsolatorsF.pdf).
- The ISO72x Family of High-Speed Digital Isolators [online]. Dostępny w Internecie: <http://www.ti.com/lit/an/slla198/slla198.pdf>.
- PN-EN 50303:2004/Apl:2005 *Urządzenia grupy I kategorii M1 przeznaczone do pracy ciąglej w atmosferach zagrożonych metanem i/lub pyłem węglowym*, data zatwierdzenia: 2005-04-22, data publikacji: 2005-05-13.
- PN-EN 61326-1:2009 *Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach. Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC)*, cz. 1. *Wymagania ogólne*. ISBN: 978-83-251-8018-8, data zatwierdzenia: 2009-07-15, data publikacji: 2009-08-07.
- Konferencja „Środowisko Elektromagnetyczne Kopalń”, Materiały konferencyjne EMAG, Katowice 20.09.2011.

*Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów*