

SŁAWOMIR CHMIELARZ
TOMASZ MOLENDĄ
PIOTR SZYMAŁĄ
WOJCIECH KORSKI

Warunki stosowania izolatorów cyfrowych w aplikacjach iskrobezpiecznych

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z zastosowaniem separacji galwanicznej obwodów cyfrowych realizowanej poprzez zastosowanie nowoczesnych izolatorów cyfrowych w aplikacjach iskrobezpiecznych. Odniesiono się do wymagań odpowiednich norm i dyrektyw oraz przedstawiono ich interpretację. Określono ograniczenia związane ze stosowaniem izolatorów cyfrowych w obwodach iskrobezpiecznych.

Słowa kluczowe: separacja galwaniczna, izolatory cyfrowe, aplikacje iskrobezpieczne

1. WSTĘP

Wśród elementów pozwalających realizować separację galwaniczną sygnałów transmisji cyfrowej stosunkowo niedawno – po 2000 roku – zostały wprowadzone na rynek elementy funkcjonujące z wykorzystaniem sprzężenia pojemnościowego albo indukcyjnego. Istotną innowacją było w nich zintegrowanie w jednym elemencie scalonym interfejsów wejścia/wyjścia o typowych poziomach logicznych CMOS wraz z układami współpracującymi z elementem sprzęgającym i samego elementu sprzęgającego. Najistotniejszymi zaletami tych elementów są ich bardzo duże szybkości pracy przy stosunkowo niewielkim – w porównaniu z innymi sposobami realizacji separacji – zapotrzebowaniu na energię oraz małe rozmiary. Prekursorami, jak również obecnymi liderami w dziedzinie rozwoju tego rodzaju elementów, są dwie firmy: Analog Devices, oferująca separatory w technologii iCoupler® [1] wykorzystującej sprzężenie indukcyjne, oraz Texas Instruments, oferująca separatory w technologii ISO [2] wykorzystującej sprzężenie pojemnościowe. Wykorzystanie elementów separujących w aplikacjach iskrobezpiecznych uwarunkowane jest spełnieniem wymagań określonych we właściwych normach. Zastosowanie środków pozwalających spełnić te wymagania w przypadku opisywanych elementów implikuje ich pracę w nietypowych warunkach. Skutkuje to częściową i zależną

od stopnia odstępstwa od warunków nominalnych degradacją funkcjonalności (zwłaszcza maksymalnej szybkości pracy) [3].

2. ODNIESIENIE DO WARUNKÓW WYMAGANYCH DO SPEŁNIENIA NORM I DYREKTYW

Dla rozwiązań iskrobezpiecznych separatorów rozdzielających szybkie iskrobezpieczne interfejsy wymiany danych, pracujących w strefach zagrożonych wybuchem muszą być spełnione wymagania następujących aktów prawnych:

- Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej, która obowiązuje od 20 kwietnia 2016 r.;
- norm budowy przeciwybuchowej:
 1. PN-EN 60079-0:2013 03 + A11:2014-03: *Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania* [4].
 2. PN-EN 60079-11:2012: *Atmosfery wybuchowe – Część 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i”* [5].
 3. PN-EN 60079-25:2011+AC:2014-08: *Atmosfery wybuchowe – Część 25: Systemy iskrobezpieczne* [6].

Podstawą stosowania izolatorów cyfrowych w układach iskrobezpiecznych jest interpretacja punktu 8.9 *Elementy oddzielające galwanicznie* normy PN-EN 60079-11:2012:

„8.9.1. *Postanowienia ogólne*

Nieuszkodzalny element izolujący, odpowiadający poniższym wymaganiom, należy uznać za odporny na uszkodzenie, polegające na zwarciu nieuszkodzalnego oddzielenia izolacyjnego”

oraz punktu 8.9.3 *Elementy izolujące pomiędzy poszczególnymi obwodami iskrobezpiecznymi:*

„(...) *Elementy izolujące powinny być brane pod uwagę jako zapewniające nieuszkodzalne oddzielenie oddzielnych obwodów iskrobezpiecznych, jeżeli są spełnione następujące warunki:*

- wartości znamionowe elementu powinny być zgodne z 7.1 (z dającymi się zastosować wyjątkami niniejszego rozdziału), chyba że można wykazać, że jest niemożliwe, by obwody przyłączane do tych zacisków zaszkodziły nieuszkodzalności elementów izolujących. Sposoby zabezpieczania (takie jak wskazane w 8.9.2) mogą być niezbędne, aby uniknąć przekroczenia wartości znamionowych elementów izolujących;
- elementy powinny spełniać wymagania dotyczące wytrzymałości elektrycznej izolacji, zgodnie z 6.3.13. Znamionowe napięcie izolacji podane przez producenta elementu zapewniającego nieuszkodzalne oddzielenie nie powinno być mniejsze od napięcia próby wymaganej w 6.3.13 (...)*”.

Ważnym odniesieniem punktu 8.9.3 do punktu 6.3.13 *Wymagania odnośnie wytrzymałości elektrycznej* tej samej normy jest:

„*Izolacja pomiędzy obwodem iskrobezpiecznym a korpusem urządzenia elektrycznego lub częściami, które mogą być uziemione, winna w normalnych warunkach wytrzymać próbę napięciową, opisaną w punkcie 10.3 niniejszej normy, wykonaną przy użyciu napięcia przemiennego o wartości skutecznej dwa razy wyższej od napięcia obwodu iskrobezpiecznego, bądź przy użyciu napięcia o wartości 500 V, w zależności od tego, która z tych wartości jest większa. Jeśli obwód nie spełnia tego wymagania, urządzenie powinno być oznaczone symbolem „X”, a w dokumentacji winna być zawarta niezbędna informacja odnośnie prawidłowej instalacji urządzenia. (...)*

W sytuacji, w której przebicie pomiędzy oddzielnymi obwodami iskrobezpiecznymi mogłoby spowodować zagrożenie, izolacja, znajdująca się pomiędzy tymi obwodami, winna wytrzymać napięcie probiercze o warto-

ści skutecznej równej 2 U, lecz nie mniejszej niż 500 V, jeśli U jest sumą wartości skutecznych napięć tychże obwodów”.

Izolatory w technologii iCoupler® oraz ISO mają dużą wytrzymałość elektryczną, jest ona zamieszczona w kartach katalogowych podstawowych wersji izolatorów oraz przedstawiona w tabeli 1. Izolatory zrealizowane w wymienionych technologiach posiadają nie mniejsze napięcia próby niż w wersjach podstawowych i spełniają powyższe wymagania.

Tabela 1

Wytrzymałość elektryczna izolatorów [7, 8]

Producent/ Technologia	Analog Devices/ iCoupler®	Texas Instruments/ ISO
Układ	ADuM 1100	ISO 721
Bezpieczeństwo i potwierdzenia zgodności	VIORM = 560 V peak 2500 V rms przez 1 minutę bez awarii wg UL 1577 izolacja podstawowa 4000 V peak	VIORM = 560 V peak 2500 V rms przez 1 minutę bez awarii wg UL 1577 izolacja podstawowa 4000 V peak

Należy zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do punktu 8.9.3 odnoszącego się do elementów izolujących różne obwody iskrobezpieczne, w punkcie 8.9.2 *Elementy izolujące pomiędzy obwodami iskrobezpiecznymi a obwodami nieiskrobezpiecznymi* istnieje zapis: „*Następujące wymagania mają zastosowanie do elementów izolujących:*

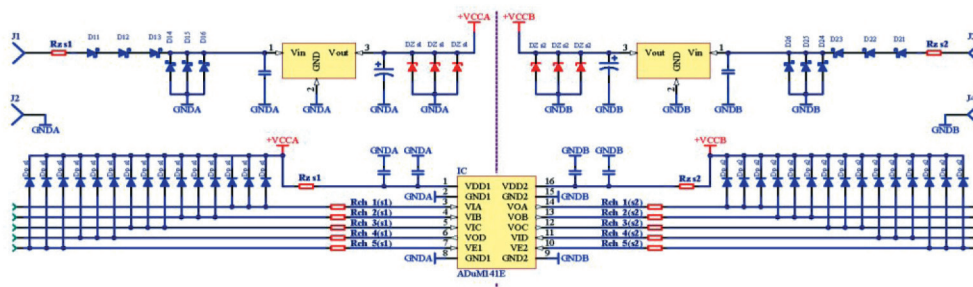
- Wymagania według Tablicy 5 należy również stosować do elementu izolującego z tym wyjątkiem, że wewnątrz uszczelnionych elementów, na przykład transoptorów, kolumny 5, 6 i 7 nie mają zastosowania. Jeżeli korzysta się z Tablicy F.1, kolumna 2 nie ma zastosowania”.*

Na podstawie powyższych zapisów w normach można stosować izolatory cyfrowe do separacji galwanicznej pomiędzy obwodami iskrobezpiecznymi.

Słuszność powyższej interpretacji wymagań potwierdzają również pracownicy jednostek notyfikowanych do dyrektywy ATEX, którzy zapoznali się z dokumentacjami urządzeń, w których zastosowano izolatory cyfrowe i wydali w tej sprawie pozytywne opinie.

3. OGRANICZENIA PARAMETRÓW IZOLATORA

Karty katalogowe izolatorów cyfrowych typu iCoupler® firmy Analog Devices oraz typu ISO firmy Texas Instruments zawierają ograniczenia poszcze-



Rys. 1. Schemat obwodu czterokanałowego izolatora ADuMI41 w aplikacji iskrobezpiecznej

gólnych parametrów pracy tych elementów, warunkujące ich bezpieczne stosowanie:

- 1) moc wydzielona w obudowie,
- 2) lub prąd zasilania stron pierwotnej i wtórnej,
- 3) oraz prąd w linii transmisyjnej izolatora stron pierwotnej i wtórnej.
- 4) napięcie zasilania, napięcie na wejściu, napięcie na wyjściu.

Ogólny przykład układu spełniającego powyższe ograniczenia dla aplikacji iskrobezpiecznej dla separatorów Analog Devices przedstawiono na rysunku 1 (analogiczną interpretację można przedstawić dla separatorów Texas Instruments).

W układzie prezentowane są dwa alternatywne w zależności od miejsca ich zastosowania sposoby ograniczenia mocy wydzielonej (prądu zasilania) przez zastosowanie rezystorów $Rz\ s1$ ($Rz\ s2$). Maksymalna całkowita moc wydzielona w izolatorze $P_{max}IC(T_a)$ w odniesieniu do temperatury otoczenia wynosi:

$$P_{max}IC(T_a) = P_{max}s1(T_a) + P_{max}s2(T_a)$$

gdzie:

$P_{max}s1(T_a)$ – moc dostarczona do izolatora od strony pierwotnej,

$P_{max}s2(T_a)$ – moc dostarczona do izolatora od strony wtórnej.

Po stronie pierwotnej moc dostarczona do układu wynosi:

$$P_{max}s1(T_a) = \frac{Uz^2 [DZ(s1)]_{max}}{4 \cdot Rz(s1)_{min}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Ui_{max}^2(s1)}{4 \cdot Rch_n(s1)_{min}}$$

gdzie:

$Uz[DZ(s1)]_{max}$ – maksymalne napięcie zasilania strony pierwotnej,

$Rz(s1)_{min}$ – minimalna rezystancja szeregową zasilania strony pierwotnej,

$Ui_{max}(s1)$ – maksymalne napięcie wejściowe na n -tym kanale izolatora strony pierwotnej,

$Rch_n(s1)_{min}$ – minimalna rezystancja szeregową na n -tym kanale izolatora.

Analogicznie po stronie wtórnej moc dostarczona do układu wynosi:

$$P_{max}s2(T_a) = \frac{Uz^2 [DZ(s2)]_{max}}{4 \cdot Rz(s2)_{min}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{Ui_{max}^2(s2)}{4 \cdot Rch_n(s2)_{min}}$$

gdzie:

$Uz[DZ(s2)]_{max}$ – maksymalne napięcie zasilania strony wtórnej,

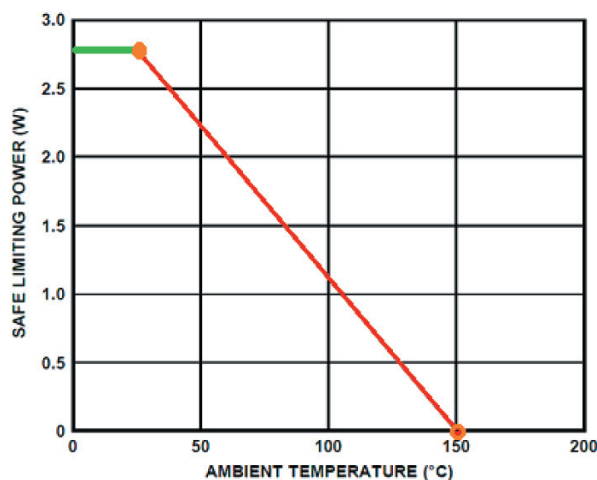
$Rz(s2)_{min}$ – minimalna rezystancja szeregową zasilania strony wtórnej,

$Ui_{max}(s2)$ – maksymalne napięcie wejściowe na n -tym kanale izolatora strony wtórnej,

$Rch_n(s2)_{min}$ – minimalna rezystancja szeregową na n -tym kanale izolatora strony wtórnej.

3.1. Ograniczenie maksymalnej całkowitej mocy wydzielonej w obudowie izolatora

Maksymalna całkowita moc wydzielona w izolatorze $P_{max}IC(T_a)$ w odniesieniu do temperatury otoczenia pracy (T_a) nie powinna przekraczać:



Rys. 2. Zależność wartości granicznej bezpieczeństwa mocy od temperatury otoczenia według DIN V VDE V 0884-10 na przykładzie izolatora czterokanałowego ADuMI4x dla obudowy RW-16 Wide Body [SOIC_W] [9]

Dla $T_a \leq 25^\circ\text{C}$

$$P_{\max} IC(T_a) = P_{TPD_max}$$

Dla $25^\circ\text{C} < T_a \leq 150^\circ\text{C}$ z równania prostej na podstawie charakterystycznych dwóch punktów dla tego przypadku (150°C , 0 W; 25°C , 2,78 W).

$$P_{\max} IC(T_a) = \frac{(P_{TPD_Tj\max} - P_{TPD_max}) \cdot (T_a - T_{jTPD_max}) + P_{TPD_max} \cdot (T_{j\max} - T_{jTPD_max})}{T_{j\max} - T_{jTPD_max}}$$

gdzie:

$P_{TPD_Tj\max}$ – maksymalna moc, jaką można wydzielić przy maksymalnej temperaturze złącza (typowo 0 mW),

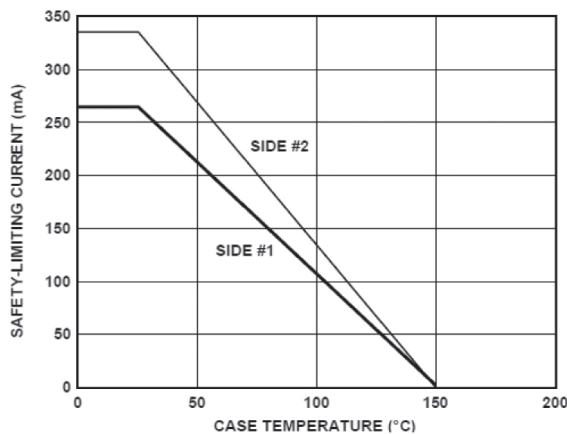
P_{TPD_max} – maksymalna moc, jaką można wydzielić w temperaturze pokojowej (typowo w 25°C),

T_a – zakładana temperatura pracy,

T_{jTPD_max} – maksymalna temperatura złącza, przy której można wydzielić maksymalną moc (typowo 25°C),

$T_{j\max}$ – maksymalna temperatura złącza (typowo 150°C).

3.2. Ograniczenie maksymalnego prądu zasilania strony pierwotnej i wtórnej



Rys. 3. Zależność wartości granicznych bezpieczeństwa prądu zasilania (I_{s1} , I_{s2}) od temperatury obudowy według DIN V VDE V 0884-10 na przykładzie izolatora trzykanałowego ADuM130x [10]

W analogiczny sposób jak w punkcie 3.1 z równania prostej na podstawie charakterystycznych dwóch punktów wyznaczana jest wartość prądu zasilania każdej strony w odniesieniu do temperatury obudowy, stanowiąca bezpieczną wartość graniczną. Wartością krytyczną temperatury obudowy jest temperatura złącza.

3.3. Ograniczenie maksymalnego prądu w linii transmisyjnej izolatora strony pierwotnej i wtórnej

Wartość ograniczonego maksymalnego prądu w linii transmisyjnej izolatora odpowiedniej strony (I_{o1} , I_{o2}) należy odnieść do zależności wartości granicznych bezpieczeństwa od temperatury.

Parametr	Rating
Storage Temperature (T_{ST})	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature (T_A) ¹	-40°C to $+105^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature (T_A) ²	-40°C to $+125^\circ\text{C}$
Supply Voltages (V_{DD1} , V_{DD2}) ³	-0.5 V to $+7.0\text{ V}$
Input Voltage (V_{IA} , V_{IB} , V_{IC} , V_{E1} , V_{E2}) ^{3,4}	-0.5 V to $V_{DD1} + 0.5\text{ V}$
Output Voltage (V_{OA} , V_{OB} , V_{OC}) ^{3,4}	-0.5 V to $V_{DD0} + 0.5\text{ V}$
Average Output Current per Pin ⁵	
Side 1 (I_{o1})	-23 mA to $+23\text{ mA}$
Side 2 (I_{o2})	-30 mA to $+30\text{ mA}$
Common-Mode Transients ⁶	$-100\text{ kV}/\mu\text{s}$ to $+100\text{ kV}/\mu\text{s}$

Rys. 4. Przykład definicji wartości granicznych bezpieczeństwa (I_{o1} , I_{o2}) ograniczenie prądu w linii transmisyjnej do wartości bezpiecznej na przykładzie izolatora trzykanałowego ADuM130x [2]

Maksymalny prąd w kanale transmisyjnej strony pierwotnej w izolatorze $I_{\max} ch_s1(T_a)$ w odniesieniu do temperatury otoczenia pracy (T_a) nie powinien przekraczać:

Dla $T_a \leq 25^\circ\text{C}$

$$I_{\max} ch_s1(T_a) = I_{o1_max}$$

Dla $25^{\circ}\text{C} < T_a \leq 150^{\circ}\text{C}$ z równania prostej na podstawie dwóch punktów.

$$I_{\max ch_s1}(T_a) = \frac{(I_{o1_Tj_{\max}} - I_{o1_{\max}}) \cdot (T_a - T_{j_{o1_{\max}}}) + I_{o1_{\max}} \cdot (T_{j_{\max}} - T_{j_{o1_{\max}}})}{T_{j_{\max}} - T_{j_{o1_{\max}}}}$$

gdzie:

$I_{o1_Tj_{\max}}$ – maksymalny prąd, jaki może popłynąć przy maksymalnej temperaturze złącza (typowo 0 mA),

$I_{o1_{\max}}$ – maksymalny prąd, jaki może popłynąć w temperaturze pokojowej (typowo w 25°C),

T_a – zakładana temperatura pracy,

$T_{j_{o1_{\max}}}$ – maksymalna temperatura obudowy, przy której może popłynąć maksymalny prąd (typowo 25°C),

$T_{j_{\max}}$ – maksymalna temperatura złącza (typowo 150°C).

Wówczas można określić minimalną rezystancję szeregową na n -tym kanale $R_{ch_n(s1)_{\min}}$ – przykładowo dla strony pierwotnej ($s1$):

$$R_{ch_n(s1)_{\min}} = \frac{U_{i_{\max}}(s1)}{I_{\max ch_s1}(T_a)}$$

gdzie:

$U_{i_{\max}}(s1)$ – maksymalne napięcie wejściowe na n -tym kanale izolatora strony pierwotnej,

$I_{\max ch_s1}(T_a)$ – maksymalny prąd w n -tym kanale izolatora.

Analogiczne zależności obowiązują dla strony wtórnej izolatora.

Konieczność stosowania szeregowych rezystancji ograniczających prąd i moc włączonych w linie transmisyjne jest przyczyną ograniczeń funkcjonalnych. Rezystancje te tworzą wraz z pojemnościami wejściowymi izolatorów oraz układów współpracujących z izolatorami filtry dolnoprzepustowe zniekształcające przesyłane sygnały i ograniczające maksymalne szybkości lub wpływające niekorzystnie na zależności czasowe pomiędzy przesyłanymi sygnałami.

3.4. Ograniczenie napięcia zasilania stron izolatora, napięć na wejściu/wyjściu

Karty katalogowe izolatorów cyfrowych definiują maksymalne napięcia zasilania oraz maksymalne

napięcia na liniach transmisyjnych poszczególnych stron. W aplikacjach iskrobezpiecznych w układach bez wejściowych ograniczników napięcia jest konieczne formalne ograniczenie napięcia do wartości nie większej niż: 6,0 V dla układów w technologii ISO, 7,0 V dla układów w technologii *iCoupler*®. W przypadku zasilania w typowej aplikacji iskrobezpiecznej są stosowane zabezpieczenia w postaci równoległych ograniczników napięcia złożonych z 5% diod Zenera.

Maksymalne napięcie wynika z napięcia diody Zenera (z uwzględnieniem 5% tolerancji) z danego typu szeregu diod, które zapewnia nieprzekroczenie wartości określonych w karcie katalogowej. Maksymalne napięcie zasilania dla technologii *iCoupler*® 7,0 V w aplikacji iskrobezpiecznej $U_i = 6,51$ V, $U_o = 6,51$ V.

Maksymalne napięcie zasilania dla technologii ISO 6,0 V w aplikacji iskrobezpiecznej $U_i = 5,88$ V, $U_o = 5,88$ V.

Karty katalogowe izolatorów cyfrowych definiują maksymalne napięcia wejść i wyjść poszczególnych stron. Napięcia te nie mogą przekroczyć określonej wartości względem napięcia zasilania danej strony izolatora.

W sytuacji gdy do wejść/wyjść danej strony izolatora dołączony jest tylko obwód zasilany przez ten sam ogranicznik napięcia, który zasila izolator, i można wykazać, że napięcie na wejściach/wyjściach będzie w każdym przypadku nie większe niż napięcie zasilania izolatora, wówczas nie jest wymagane dodatkowe ograniczenie napięcia na wejściach/wyjściach izolatora. W przeciwnym razie należy zapewnić nieprzekroczenie wartości napięcia na wejściach/wyjściach względem wartości określonej w karcie katalogowej, na przykład przez zastosowanie równoległych ograniczników napięcia w postaci nieuszkodzalnych diod włączonych pomiędzy linie wejść/wyjść a zasilanie izolatora w sposób zapewniający nieuszkodzalność tych połączeń (diody Dp_s1 strony pierwotnej oraz diody Dp_s2 strony wtórnej na rysunku 1).

Doświadczenia praktyczne potwierdzają możliwość zastosowania diodowych ograniczników napięcia na liniach wejść/wyjść, jednak przy znacznym ograniczeniu maksymalnych szybkości transmisji w stosunku do danych katalogowych: do 2 Mbps

w przypadku układów wykonanych w technologii iCoupler® oraz do 3,675 Mbps w przypadku układów wykonanych w technologii ISO. Dla rozwiązania z diodowymi ogranicznikami napięcia na liniach transmisyjnych dopuszczalne wartości napięć przed ogranicznikami będą uzależnione od topologii układu, wartości elementów i parametrów diod zastosowanych w ogranicznikach.

4. PODSUMOWANIE

W porównaniu z alternatywnymi rozwiązaniami separacji galwanicznej sygnałów cyfrowych scalone izolatory pozwalają realizować separację przy stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na energię w stosunku do oferowanych szybkości transmisji i liczby separowanych kanałów. Zastosowanie ich w aplikacjach iskrobezpiecznych do separacji poszczególnych obwodów iskrobezpiecznych możliwe jest pod warunkiem spełnienia wymogów określonych w normach, przy czym zastosowane w tym celu środki i rozwiązania układowe częściowo ograniczają ich funkcjonalność i parametry separacji w odniesieniu do katalogowych. Pomimo tych niedogodności znajdują zastosowania zwłaszcza przy separacji lokalnej szybkich interfejsów o dużej liczbie linii transmisyjnych.

Literatura

- [1] Scott W.: *iCoupler®, Digital Isolators Protect RS-232, RS-485, and CAN Buses in Industrial, Instrumentation and Computer Applications*, „Analog Dialogue” 39–10, October 2005, [online:] <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/39-10/iCoupler.pdf> [dostęp 18.11.2015].
- [2] Kugelstadt T.: *Industrial data-acquisition interfaces with digital isolators*, „Analog Applications Journal” 3Q 2011 [online:] <http://www.ti.com/lit/an/slyt426/slyt426.pdf> [dostęp 18.11.2015].
- [3] Chmielarz S., Molenda T.: *Modern technologies of galvanic separation of digital signals and their possible applications in intrinsically safe devices*, „Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering” 2015, 3: 59–67.
- [4] PN-EN 60079-0:2013-03+A11:2014-03: *Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania*.
- [5] PN-EN 60079-11:2012: *Atmosfery wybuchowe – Część 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i”*.
- [6] PN-EN 60079-25:2011+AC:2014-08: *Atmosfery wybuchowe – Część 25: Systemy iskrobezpieczne*.
- [7] Analog Devices Inc.: *Data Sheet iCoupler Digital Isolator ADuM1100: rev. K 2015*, [online:] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUM1100.pdf> [dostęp 18.11.2015].
- [8] Texas Instruments: *Data Sheet ISO72x Single Channel High-Speed Digital Isolators ISO721, ISO721M, ISO722, ISO722M SLLS629L – January 2006 – Revised October 2015*, [online:] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/iso722.pdf> [dostęp 18.11.2015].
- [9] Analog Devices Inc.: *Data Sheet 3.0 kV RMS / 3.75 kV RMS Quad Digital Isolators ADuM140D/ADuM140E/ADuM141D/ADuM141E/ADuM142D/ADuM142E rev. M 2016*, [online:] http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM140D_140E_141D_141E_142D_142E.pdf [dostęp 29.08.2016].
- [10] Analog Devices Inc.: *Data Sheet Triple-Channel Digital Isolators ADuM1300/ADuM1301 rev. K 2015*, [online:] http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1300_1301.pdf [dostęp 18.11.2015].

mgr inż. SŁAWOMIR CHMIELARZ

mgr inż. TOMASZ MOLENDĄ

mgr inż. PIOTR SZYMAŁA

mgr inż. WOJCIECH KORSKI

Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice

{S.Chmielarz, T.Molenda, P.Szymala,

W.Korski}@ibemag.pl