

System agregacji danych i sterowania dla stref zagrożenia wybuchem

The data aggregation and control system for explosion hazard zones

Strefa zagrożenia wybuchem jest obszarem przestrzeni, w której występuje ryzyko wystąpienia atmosfery wybuchowej, czyli mieszaniny powietrza z innymi substancjami palnymi. Względy bezpieczeństwa wymagają specjalnej konstrukcji aparatury pomiarowej i sterującej przeznaczonej dla tych stref. Na przykładzie opracowanego Systemu Agregacji Danych, przeznaczonego do przesyłania informacji ze strefy zagrożenia wybuchem, zostały zaprezentowane wymagania prawne oraz związane z tym wymagania konstrukcyjne do budowy tego typu urządzeń. Prezentowany System składa się z dwóch współpracujących urządzeń, z których jedno umieszczone w strefie zagrożenia wybuchem przesyła informację z czujników zainstalowanych w strefie poza strefę zagrożenia do drugiego urządzenia. Informacje przedstawione w publikacji przybliżają czytelnikowi względy bezpieczeństwa z działaniem elektronicznej aparatury w strefie zagrożenia wybuchem i w sposób praktyczny przedstawiają sposób jej konstruowania.

Abstract. An explosion hazard zone is an area of space where there is a risk of an explosive atmosphere, which is a mixture of air with other flammable substances. Safety considerations require a special design of measuring and control equipment intended for these zones. On the example of the developed Data Aggregation System, intended for transmitting information from the explosion hazard zone, the legal requirements and related design requirements for the construction of this type of devices were presented. The presented system consists of two cooperating devices, one of which, located in the explosion hazard zone, transmits information from sensors installed in the zone outside the hazard zone to the second device. The information presented in the publication familiarizes the reader with safety considerations related to the operation of electronic equipment in explosion hazard zones and presents in a practical way how to construct it.

Słowa kluczowe: strefa zagrożenia wybuchem, ATEX, atmosfery wybuchowe, agregacja danych

Keywords: explosion hazard zone, ATEX, explosive atmospheres, data aggregation

Wstęp

Strefa zagrożenia wybuchem jest obszarem przestrzeni, w której występuje ryzyko wystąpienia atmosfery wybuchowej, czyli mieszaniny powietrza z innymi substancjami palnymi. Względy bezpieczeństwa wymagają specjalnej konstrukcji aparatury pomiarowej i sterującej przeznaczonej dla tych stref. Na przykładzie opracowanego Systemu Agregacji Danych, przeznaczonego do przesyłania informacji ze strefy zagrożenia wybuchem, w artykule zaprezentowane są wymagania prawne oraz związane z tym wymagania konstrukcyjne do budowy tego typu urządzeń.

Informacje ogólne o systemie

Prezentowany System składa się z dwóch współpracujących urządzeń, z których jedno jest umieszczone w strefie zagrożenia wybuchem i przesyła informację z czujników poza strefę zagrożenia do drugiego urządzenia. Połączenie między urządzeniami realizowane jest przy pomocy obwodów iskrobezpiecznych (zasilanie) i światłowodu (transmisja) o długości do 50 m. Urządzenia komunikują się z użyciem protokołu MODBUS RTU. Urządzenie iskrobezpieczne pełni rolę koncentratora sygnałów z czujników w strefie zagrożenia wybuchem i przewidziane jest do pracy w strefie, gdzie występuje ryzyko wystąpienia mieszaniny gazów palnych. Urządzenie to może współpracować z czujnikami zainstalowanymi na modułach technologicznych stacji tankowania LNG i LCNG, takich jak: złącza tankowania, zbiornik, zespół pomp, dystrybutor.

Wymagania normatywne

Urządzenia jako elementy systemu są skonstruowane zgodnie z dyrektywami ATEX, EMC 2014/30/UE, RoHS II 2011/65/UE. Urządzenia spełniają wymagania odpowiednich norm dotyczących ogólnych wymagań bezpieczeństwa dla stref zagrożenia wybuchem, a także odporności na zaburzenia elektromagnetyczne typu BURST, SURGE, ESD.

Podział komponentów

Komponenty wchodzące w skład urządzenia iskrobezpiecznego, według wymagań ATEX [1, 2], dzielimy na:

- komponenty nieuszkodzalne – jest to np. ścieżka o szerokości ≥ 2 mm, odstęp między ścieżkami ≥ 2 mm,
- komponenty policzalne, od których zależy iskrobezpieczeństwo - są to np. specjalnej konstrukcji rezystory, diody Zenera, których znamionowe parametry techniczne, takie jak napięcie, prąd, moc, temperatura, nie przekraczają 2/3 katalogowych wartości znamionowych podawanych przez producenta. Dla przypadku poziomu ochrony „ia” iskrobezpieczeństwo musi być zachowane przy usterce dwóch dowolnych elementów policzalnych i dowolnej ilości elementów niepoliczalnych,
- komponenty niepoliczalne – są to wszystkie pozostałe elementy.

Dla komponentów, których poziom ochrony oznaczony jest jako „ia” lub „ib”, należy uwzględnić współczynnik bezpieczeństwa 1,5 tj. podczas normalnej pracy urządzenie nie powinno przekraczać 2/3 parametrów znamionowych. W przypadku komponentów o poziomie ochrony „ic”, współczynnik bezpieczeństwa wynoszący 1,5 nie jest obowiązkowy, jeśli obwód mieści się w zdefiniowanym maksymalnym prądzie i napięciu znamionowym.

W dziedzinie bezpieczeństwa elektrycznego komponent elektroniczny, taki jak bezpiecznik, odgrywa kluczową rolę, otwierając obwód prądowy po przepaleniu. Przyjmuje się, że do zapewnienia ochrony wystarczy jeden bezpiecznik o odpowiedniej wartości znamionowej, a także, aby bezpiecznik został przepalony dopiero po przepływie prądu o wartości 1,7 jego wartości znamionowej.

Konstrukcja urządzeń wchodzących w skład systemu

Urządzenie 1 jest urządzeniem towarzyszącym iskrobezpiecznym współpracującym z urządzeniem 2 w wykonaniu iskrobezpiecznym. Zostało oznakowane cechami przeciwwybuchowymi **Ex II 2G [Ex ib op is Gb] Ila**.

Urządzenie 2 w wykonaniu iskrobezpiecznym pełni rolę zasilacza i koncentratora danych dla urządzeń pomiarowych i sterujących w wykonaniu iskrobezpiecznym pracujących w strefie zagrożenia wybuchem. Zostało oznakowane cechami przeciwwybuchowymi **Ex II 2G Ex ib op is T4 Gb**. Należy do

urządzeń grupy II, przeznaczonych dla zakładów innych niż górnicze i wykonane jest w kategorii 2G, gdzie gazowa atmosfera wybuchowa może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania dla 1. strefy zagrożenia wybuchem.

Zasilanie urządzeń

Urządzenie iskrobezpieczne towarzyszące 1, będące poza strefą zagrożenia wybuchem, zasilane jest z napięcia 24 VDC.

Urządzenie iskrobezpieczne 2 zasilane jest z urządzenia towarzyszącego 1 napięciem znamionowym $U_n = 21 \text{ V}$ i prądem znamionowym $I_n = 250 \text{ mA}$. Parametry wyjściowe źródła zasilania zapewnia ogranicznik 4, zainstalowany w urządzeniu 1 dla ograniczenia napięcia, prądu i mocy. Parametry wyjściowe toru zasilania wyjściowego na złączu zasilającym to: $U_o = 23,7 \text{ V}$, $I_o = 0,6 \text{ A}$, $P_o = 14,22 \text{ W}$, $L_o = 380 \mu\text{H}$, $C_o = 780 \text{ nF}$.

Urządzenia połączone są za pomocą przewodów o znanych parametrach: indukcyjność $1 \mu\text{H/m}$, pojemność 200 pF/m .

Przy maksymalnej długości przewodów zasilających 50 m , pojemność przewodu $C_c = 10 \text{ nF}$ i indukcyjność przewodu

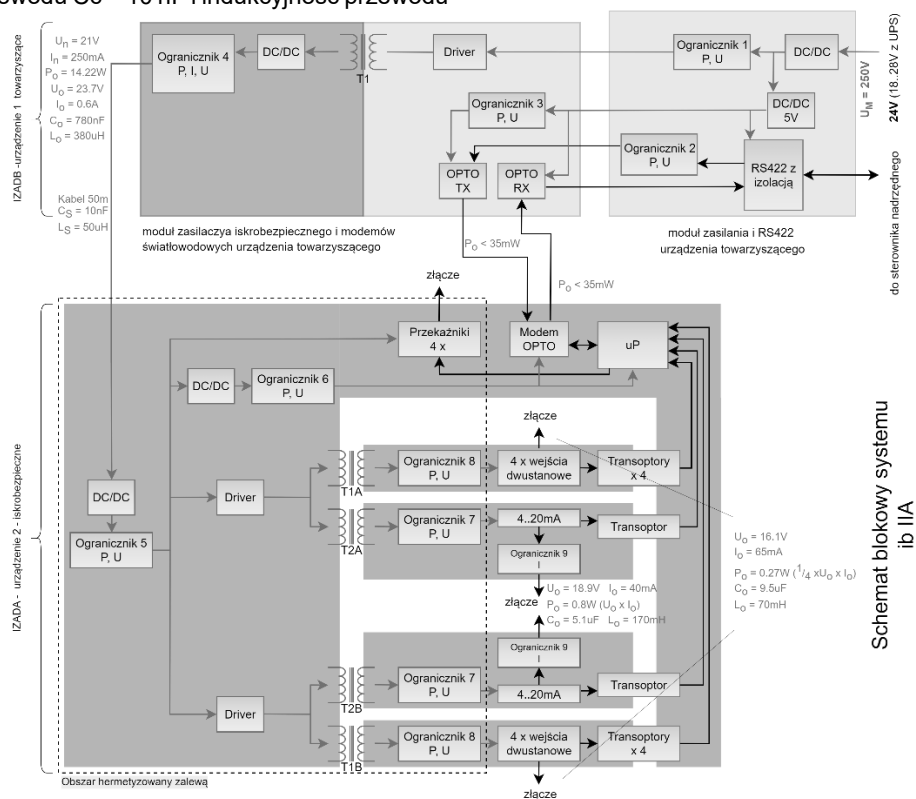
$L_c = 50 \mu\text{H}$. Dla instalacji urządzeń dla grupy IIA obowiązują nierówności (1 i 2).

- (1) $C_o \geq C_i + C_c$
- (2) $L_o \geq L_i + L_c$

Zatem w przypadku instalacji urządzeń systemu te nierówności są spełnione w przestrzeni zagrożenia wybuchem:

- (3) $L_i + L_c = 50 \mu\text{H} < L_o = 380 \mu\text{H}$
- (4) $C_i + C_c = 10 \text{ nF} < C_o = 780 \text{ nF}$

W obwodzie zasilania urządzenia 2, na wejściu zastosowano bezpiecznik połączony z szeregowym ogranicznikiem prądu, który pełni też rolę zabezpieczenia przed odwróceniem polaryzacji. Za diodami szeregowego ogranicznika prądu wstawiono bocznikujący ogranicznik napięcia dla zapłonu inicjowanego iskrami. Schemat blokowy systemu został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu

Konwerter transmisji danych

Konwerter transmisji danych jest wydzielonym wewnętrznym modułem urządzenia 2 przystosowanym do pracy w systemach transmisji danych w warunkach stref zagrożonych wybuchem. Służy do zmiany formy cyfrowej transmisji szeregowej z postaci sygnałów elektrycznych o poziomach 3,3 V na postać optyczną o długości fali 820 nm. Konwerter zapewnia generowanie sygnałów optycznych zgodnie z wymaganiami normy [4]. Dwukierunkowy transfer danych w transmisji optycznej może odbywać się w pełnym duplexie, z prędkością do 115 200 bitów na sekundę. Zaimplementowane w urządzeniu oprogramowanie ustala szybkość transmisji na 9600 bit/sek. Wymiana danych pomiędzy urządzeniem 2, a SIMATIC S7-1200, za pośrednictwem urządzenia 1, odbywa się z użyciem zaimplementowanego protokołu transmisji – MODBUS RTU. Jako elementy nadawcze i odbiorcze zastosowano układy

firmy Avago (BROADCOM) HFBR-1412Z i HFBR-2412Z wyposażone w złącza optyczne ST. Konwerter optyczny przeznaczony jest do współpracy z światłowodami wielomodowymi zakończonymi złączami ST: PT50 (50/125), PT62,5 (62,5/125), PT100 (100/140). Na płytce drukowanej są zainstalowane łącza optyczne, a światłowody są wyprowadzone poprzez przepusty kablowe zainstalowane w obudowie urządzenia 2. Łącza optyczne składają się z:

- nadajnika danych cyfrowych przez łącza optyczne nazwanego FOTX1,
- odbiornika danych cyfrowych przez łącza optyczne nazwanego FORX1.

Nadajnik promieniowania optycznego zbudowany jest z modułu optycznego HFBR-1412Z, z łączem optycznym ST, w wewnętrznej części urządzenia 2. Moc promieniowania

optycznego przez światłowód nie przekracza 35 mW i jest wystarczająca do obsługi urządzenia z odległości do 0,5 km. Odbiornik promieniowania optycznego zbudowany jest z modułu optycznego HFBR-2412Z z łączem optycznym ST w wewnętrznej części urządzenia 2. Sygnał ze światłowodu zamieniany jest na sygnał elektryczny RS422. Moc promieniowania optycznego przez światłowód nie przekracza 35 mW. Moduł zapewnia ograniczenie mocy optycznej na wyjściu zgodnie z zabezpieczeniem „op is” według II 2G Ex ib op is T4 Gb.

Obwody drukowane

Norma PN-EN 60079-11:2012 [2] narzuca wymagania na wykonanie obwodów drukowanych, ich jakość i zabezpieczenie. Dwustronne obwody drukowane dla poszczególnych modeli urządzeń wykonane zostały na laminacie typu FR4 firmy NanYa, grubości laminatu 1.5 mm i grubości miedzi 35 μ m. Grubość wykonanej płytki 1.61-1.64 mm, a grubość miedzi 35 μ m plus dodatkowo 21-24 μ m nadbudowy miedzianej podczas procesów chemicznych. Wyrób jest zgodny z PN-EN 123000:2002. Odporność na prądy pełzające obwodów drukowanych 175<CTI<249 V. Obwody drukowane pokryte są soldermaską firmy Coates typu XV501T-4. Odporność na prądy pełzające soldermaski CTI>600 V. Zmontowane obwody drukowane lakierowane są lakierem akrylowym przeznaczonym dla elektroniki HPA, APL lub TFA firmy Electrolube. Odporność na prądy pełzające warstwy lakieru akrylowego CTI>300 V.

Analiza termiczna ścieżek obwodów drukowanych

Obwody drukowane urządzeń wykonane są w technologii opisanej powyżej. Dla klasy temperaturowej T4 przy braku pyłu węglowego i stopniu ochrony zapewnianym przez obudowę IP54 jest dopuszczona moc maksymalna 3,3 W [2]. W urządzeniu można przyjąć, że wszystkie ścieżki obwodu drukowanego należą do klasy temperaturowej T4. Dla tej klasy przeprowadzono klasyfikację maksymalnych prądów płynących w ścieżkach użytych w projekcie obwodów drukowanych dla maksymalnej temperatury otoczenia 40°C [2], co przedstawiono w kolumnie 1 w tabeli 1.

Tabela 1. Zależność maksymalnego prądu od szerokości ścieżek obwodów drukowanych

Minimalna szerokość ścieżek	Maksymalny prąd dla klasy T4	Zależność maksymalnego prądu od szer. ścieżek	
		dla 40°C	dla 60°C
0,2 mm	1,8 A	0,60A	0,50A
0,5 mm	3,5 A	1,20A	0,98A
0,7 mm	4,6 A	1,54A	1,28A
1,5 mm	8,0 A	2,70A	2,23A
5,0 mm	19,3 A	6,44A	5,37A

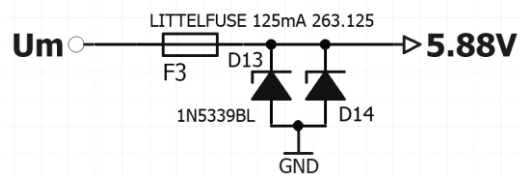
Zgodnie z zapisami w normie [2] obowiązują uwagi, które mówią o współczynnikach przez jakie należy podzielić wartość odczytaną z tabeli. Uwzględniając współczynniki bezpieczeństwa, które wynoszą:

- 1,5 - dla dwustronnych obwodów drukowanych,
- 2 - dla ścieżek znajdujących się w pobliżu układów, w których może się wydzielić moc 0,25 W,
- 1,2 - dla temperatury otoczenia podniesionej do 60°C.

Dla zadeklarowanej temperatury otoczenia 40°C, po uwzględnieniu współczynników korekcyjnych dla temperatury wewnątrz urządzenia 60°C, należy zredukować maksymalne prądy płynące w ścieżkach obwodów drukowanych, co przedstawiono w kolumnach 3,4 w tabeli 1.

Równoległe ograniczniki napięcia

Jako przykład realizacji układowej elementów iskrobezpieczeństwa omówiono równoległy ogranicznik napięcia 3 przedstawiony blokowo na schemacie blokowym na rysunku 1 i na schemacie ideowym na rysunku 2.



Rys.2. Ogranicznik napięcia

Jako ogranicznik napięcia zastosowano barierę diodową zbudowaną z 2 diod Zenera typu 1N5339B o napięciu $U_z = 5,6 \text{ V}$ (5,32 V...5,88 V). Prąd płynący przez diodę 1N5339B ograniczony jest bezpiecznikiem o prądzie $I_n = T125 \text{ mA}/250 \text{ VAC}$. Zgodnie z normą PN-EN 60079-11:2012 [2] prąd I do obliczeń powinien być pomnożony $\times 1,7$. Zatem $I = 1,7 \times I_n = 1,7 \times 125 \text{ mA} = 212,5 \text{ mA}$. Biorąc pod uwagę pojedyncze uszkodzenie zliczane, aktywna może być 1 dioda, na którą przypadać będzie prąd $I = 212,5 \text{ mA}$. Wartość tego prądu stanowi najgorsze warunki pracy dla diody, wobec tego maksymalna moc strat, jaka wydzieli się na diodzie wyniesie $P = 5,88 \text{ V} \times 0,2125 \text{ A} = 1,25 \text{ W}$. Postępując zgodnie z punktem 7.1 normy PN-EN 60079-11:2012 [2] wymaga się, aby element był eksploatowany przy wartościach nie większych niż dwie trzecie maksymalnego prądu i mocy. $P = 1,5 \times 1,25 = 1,875 \text{ W}$.

Aby określić dopuszczalną moc strat diody Zenera 1N5339B, należy uwzględnić sposób montażu elementu oraz maksymalną temperaturę otoczenia we wnętrzu obudowy – $T_a = 60^\circ\text{C}$.

Na podstawie danych katalogowych przyjęto następujące parametry:

- rezystancja termiczna złącze – otoczenie $R_{thja} \leq 83^\circ\text{C}/\text{W}$,
- maksymalna temperatura złącza $T_{jmax} \leq 150^\circ\text{C}$.

Diody przyłutowane są do płaszczyzny masy, zatem R_{thja} ulegnie zmniejszeniu. Rzeczywisty R_{thja} obliczono na podstawie pomiarów temperatury obudowy T_c diod - przy minimalnych polach lutowniczych oraz przyłutowanej do płaszczyzny Cu przy takiej samej mocy wydzielanej na diodach $P_{D1} = P_{D2} = P_D = 1,3 \text{ W}$. Temperatury obudów wynoszą odpowiednio: $T_{c1} = 132,4^\circ\text{C}$ i $T_{c2} = 79,5^\circ\text{C}$. Temperatura złącza może być wyrażona dwoma wzorami: $T_j = T_c + R_{thjc} \times P_D$ oraz $T_j = T_a + R_{thja} \times P_D$, zatem. $T_c + R_{thjc} \times P_D = T_a + R_{thja} \times P_D$. Dla dwóch diod otrzymujemy układ równań: $T_{c1} + R_{thjc} \times P_D = T_a + R_{thja1} \times P_D$ i $T_{c2} + R_{thjc} \times P_D = T_a + R_{thja2} \times P_D$. Po przekształceniu otrzymujemy wzór: $R_{thja2} = R_{thja1} - (T_{c1} - T_{c2}) / P_D$. Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymano: $R_{thja2} = 83^\circ\text{C}/\text{W} - (132,4^\circ\text{C} - 79,5^\circ\text{C}) / 1,3 \text{ W} = 42,3^\circ\text{C}/\text{W}$. W najgorszych warunkach pracy przy maksymalnej mocy strat $P = 1,875 \text{ W}$ przyrost temperatury na złączu diody wyniesie: $\Delta T = P \times R_{thja2} = 1,875 \text{ W} \times 42,3^\circ\text{C}/\text{W} = 79,3^\circ\text{C}$. Uwzględniając maksymalną temperaturę otoczenia we wnętrzu obudowy $T_a = 60^\circ\text{C}$, temperatura złącza wyniesie $T_j = 79,3^\circ\text{C} + 60^\circ\text{C} = 139,3^\circ\text{C} < T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$, wobec tego nie została przekroczona maksymalna temperatura złącza. Dioda 1N5339B spełnia wymagania pkt. 7.5.2 normy PN-EN 60079-11:2012. [2]

Ocenę termiczną małych elementów, jakimi są rezystory przeprowadzono według tabeli 2 z normy [1], a wyniki dla klasy temperaturowej T4 przedstawiono w tabeli 2. W obliczeniach uwzględniono najgorszy przypadek związany z tolerancją wymiarów elementów. Obliczono maksymalne dopuszczalne przyrosty temperatury dla rezystorów użytych w projekcie oraz maksymalne temperatury elementów dla temperatury wewnątrz obudowy 60°C oraz przedstawiono porównawczo maksymalne temperatury powierzchni użytych rezystorów.

Tabela 2. Ocena maksymalnej temperatury małych elementów

Rozmiar obudowy	Θ_{JA} [°C/W]	Max. moc rezystora [mW]	Max. przyrost temp. elementu [°C]	Max. temp. elementu dla zakładanej temp. 60°C [°C]	Max. temp. powierzc.
0603	400	100	40	100	275
0805	250	125	32	92	275
1206	200	250	50	110	275
2512	42,5	2000	85	145	200

Zatem dla rezystorów w obudowie 1206 np.1 k Ω (0.99÷1,01 k Ω), w najbardziej niekorzystnych warunkach gdy napięcie przyłożone do jego okładek nie przekroczy napięcia $U=5,88V$:

$$(5) P_R = \frac{U^2}{R} = \frac{(5,88 V)^2}{0,99 k\Omega} \cong 35 mW < \frac{2}{3} * 250 mW$$

Maksymalna moc nie przekracza 35 mW, i jest mniejsza od dwóch trzecich dopuszczalnej maksymalnej mocy wydzielanej na tym elemencie.

Obwody wyjściowe stykowe

W obwodach wyjściowych urządzenia 2 zastosowano przełączniki elektromechaniczne ze stykami o zdolności łączeniowej 5 A 250 V AC lub 5A / 30 VDC. Wyjścia stykowe są wykorzystywane wewnątrz obudowy ognioszczelnej i nie mają przypisanych parametrów związanych z iskrobezpieczeństwem.

Obwody wejściowe 4/20 mA

Obwody wejściowe prądowe 4/20 mA są przeznaczone do badania stanu zewnętrznych obiektów i urządzeń pomiarowych, których stan jest określony poprzez zwarcie lub rozwarcie styku. Badanie stanu styku jest możliwe po podłączeniu do odpowiednich wyjść urządzenia 2. Urządzenie 2 posiada 2 wejścia pomiarowe 4/20 mA. Zasilanie urządzeń pomiarowych jest z bezpiecznego napięcia 18,9 V z za ogranicznika napięciowego 9.

Obudowa

W urządzeniu 2 wykorzystano obudowę typu BPG7 firmy ABTECH wykonaną z poliestru wzmocnionego włóknem szklanym, odporną na rozpuszczalniki. Rezystancja powierzchniowa obudowy jest $<10^9 \Omega$, dlatego może być stosowana dla urządzeń grupy wybuchowości I i II. Stopień ochrony zapewniany przez obudowę jest IP 66 zgodnie z normą DIN 40050/EN 60529. Uszczelka wykonana jest z neoprenu, odpornego na temperaturę od -40°C do +80°C. Potwierdzony po przeróbkach stopień ochrony zapewniany przez obudowę wynosi IP 54. W urządzeniu 1 wykorzystano obudowę modułową.

Transmisja danych po magistrali MODBUS RTU

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) jest standardowym protokołem komunikacji sieciowej, który używa połączeń RS422 do szeregowej transmisji danych pomiędzy urządzeniami sieciowymi. Modbus RTU używa sieci typu master/slave, gdzie komunikacja jest nawiązywana przez

pojedyncze urządzenie master, a urządzenia typu slave mogą jedynie odpowiadać na żądania urządzenia master. Urządzenie master wysyła żądanie pod jeden adres slave i tylko ten adres slave może odpowiedzieć na tą komendę.

Urządzenie 1 może obsłużyć do 6 urządzeń w strefie zagrożenia wybuchem (urządzenie 2) przez odpowiednie ustawienie nastawy nastawnika z numerem urządzenia. Do pomiarów z przetworników ciśnienia i temperatury z przetworników 4-20 użyto 12 bitowego przetwornika A/C.

Dla potrzeb pokrycia zakresu pomiarowego przetwornika przyjęto następujące zależności:

- Do obliczeń przyjęto, że 30 mA odpowiada wartości największej ADC: 4095 (0x0FFF)
- Z tego wynika, że na 1 jednostkę ADC przypada ~7,3 μA
- 1 mA odpowiada 136,5 jednostek przetwornika ADC
- < 3,5 mA - nieprawidłowa praca przetwornika lub przerwa w obwodzie prądowym
- 3,5-4 mA - odczyt z ADC = 0x01DE prawidłowe zasilanie, przetwornik gotowy do pomiaru
- 4 mA - odczyt z ADC = 0x0222 - dolny próg pomiarowy
- 4-20 mA zakres pomiarowy
- 20 mA - odczyt z ADC = 0x0AAA - górny próg pomiarowy
- 20-25 mA - przetwornik gotowy do pomiaru
- >25 mA - odczyt z ADC = 0x0D55 – zwarcie w obwodzie przetwornika

Podsumowanie

Celem artykułu było zapoznanie czytelnika z konstrukcją aparatury pomiarowo-sterowniczej oraz prześledzenie ścieżki projektowania urządzeń poprzez nadanie im cech iskrobezpieczeństwa. Istotne podczas projektowania jest dobór elementów, konstrukcja układów elektronicznych, opracowanie obwodów drukowanych, dobór obudowy, aby zachować wymagania dyrektywy ATEX związane z konstrukcją urządzeń dla przestrzeni zagrożonej wybuchem.

Przedstawiony w artykule system agregacji danych i sterowania dla stref zagrożenia wybuchem spełnia wymagania iskrobezpieczeństwa i może z powodzeniem zastąpić wiele indywidualnych dedykowanych urządzeń, które należałoby zainstalować w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Autorzy: mgr. inż. Jerzy Chudorliński, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: jerzy.chudorlinski@itr.lukasiewicz.gov.pl;
mgr. inż. Piotr Sitek, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: piotr.sitek@itr.lukasiewicz.gov.pl;
mgr. inż. Piotr Prystupiak, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: piotr.prystupiak@itr.lukasiewicz.gov.pl;
dr inż. Aleksander Lisowiec, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Tele- i Radiotechniczny, ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, E-mail: aleksander.lisowiec@itr.lukasiewicz.gov.pl;

LITERATURA

- [1] PN-EN IEC 60079-0:2018-09 Atmosfery wybuchowe -- Część 0: Urządzenia -- Podstawowe wymagania
- [2] PN-EN 60079-11:2012 Atmosfery wybuchowe -- Część 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa "i"
- [3] PN-EN 60079-25:2011 Atmosfery wybuchowe -- Część 25: Systemy iskrobezpieczne
- [4] PN-EN 60079-28:2015-12 Atmosfery wybuchowe -- Część 28: Zabezpieczenie urządzeń oraz systemów transmisji wykorzystujących promieniowanie optyczne
- [5] Sławomir CHMIELARZ, Tomasz MOLENDĄ, Wojciech KORSKI, Krzysztof OSET „Zagadnienia termiczne przy konstrukcji urządzeń iskrobezpiecznych w ujęciu norm i dyrektyw” Przegląd elektrotechniczny, doi:10.15199/48.2018.10.51
- [6] Poradnik Inżyniera - Znakowanie urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym: <https://www.grupa-wolff.eu/pdf/poradnik-inzyniera/znakowanie-urzedzen-w-wykonaniu-przeciwybuchowym.pdf>