

Bezpieczeństwo funkcjonalne: pomiar temperatury związany z bezpieczeństwem zgodnie z normą IEC 61508

Karta katalogowa WIKA IN 00.19

Wprowadzenie

W określonych warunkach termometry elektryczne mogą być stosowane w systemie związanym z bezpieczeństwem zgodnie z normą IEC 61508. W ocenie systemu związanego z bezpieczeństwem należy uwzględnić zarówno wersję termometru elektrycznego jako termometru rezystancyjnego lub termopary, jak i parametry techniczne stosowanego przetwornika temperatury.

Niniejsza informacja techniczna opisuje podstawowe zagadnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego zgodnie z normą IEC 61508 i zawiera wskazówki dotyczące określania punktu pomiaru temperatury związanego z bezpieczeństwem.

Konieczność redukcji stopnia zagrożenia

Wraz z rosnącymi oczekiwaniami społeczeństwa w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń technicznych następowała stopniowa redukcja zagrożeń wywołanych przez systemy techniczne. Sporządzono dyrektywy i normy wspierające użytkowników w eksploatacji urządzeń z zachowaniem najwyższego stopnia bezpieczeństwa. Podstawą tego są analizy wypadków i oceny ryzyka. Celem jest redukcja zagrożeń wywołanych przez systemy techniczne do akceptowalnego stopnia zgodnie z aspektami społecznymi poprzez podjęcie odpowiednich środków bezpieczeństwa.

Aby zapobiec zagrożeniu wywołanego przez awarię urządzenia, wprowadzono systemy elektryczne/elektroniczne/programowalne elektroniczne (systemy E/E/PE). Całokształt funkcji bezpieczeństwa odpowiedzialnych za utrzymanie stanu bezpieczeństwa urządzenia jest nazywany przyrządowym systemem bezpieczeństwa (SIS) lub systemem związanym z bezpieczeństwem.

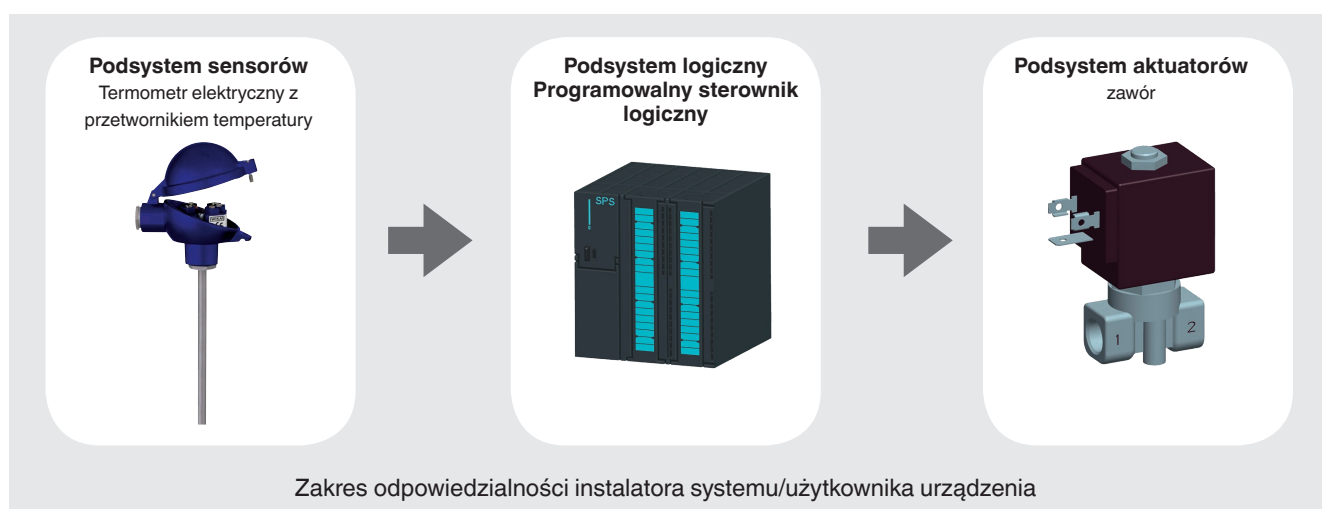


Przykładem takiego systemu bezpieczeństwa jest system monitorowania temperatury, który w razie przekroczenia temperatur granicznych niezawodnie odłącza zasilanie elektryczne urządzenia, doprowadzając je do bezpiecznego stanu i zapobiegając wystąpieniu niebezpiecznego zdarzenia.

Architektura systemu związanego z bezpieczeństwem

System elektryczny/elektroniczny/programowalny elektroniczny składa się głównie z sensorów, kontrolerów i aktuatorów. W takim przypadku cyfra jeden odnosi się do architektury jednokanałowej systemu bezpieczeństwa (system 1oo1). Architektura opisuje charakterystyczną konfigurację sprzętu i oprogramowania w systemie. System 1oo1 oznacza, że system składa się z jednego kanału, który musi pracować niezawodnie w celu realizacji funkcji bezpieczeństwa (1 out of 1). W systemach bezpieczeństwa o architekturze wielokanałowej funkcja bezpieczeństwa realizowana jest przez redundancję sprzętu i oprogramowania (patrz "Systemy redundantne").

Przykład architektury jednokanałowej dla przyrządowego systemu bezpieczeństwa



Termometr elektryczny z przetwornikiem temperatury modelu T32.1S (wersja montażu głowicowego) i T32.3S (wersja montażu szynowego) może być stosowany jako element zintegrowanego systemu bezpieczeństwa przez operatorów.



Przetwornik temperatury, model T32.xS

Podstawa prawna

Seria norm IEC 61508 "Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektrycznych systemów związanych z bezpieczeństwem" jest uznawana za podstawową normę bezpieczeństwa. Opisuje ona środki podejmowane w celu zapobiegania i eliminowania awarii urządzeń i instalacji oraz może być stosowana niezależnie od sektora przemysłu.

Norma IEC 61508 powinna być stosowana szczególnie, jeżeli

- funkcja bezpieczeństwa jest zintegrowana w systemie E/E/PE
- awaria przyrządowego systemu bezpieczeństwa doprowadzi do zagrożenia ludzi i środowiska
- nie istnieje właściwa norma odnosząca się do konstrukcji systemów bezpieczeństwa

Norma IEC 61508 stanowi aktualny stan techniki w zakresie projektowania systemów bezpieczeństwa. Konstrukcja systemów bezpieczeństwa musi bezwzględnie spełniać wymagania najlepszej dostępnej technologii i tym samym postanowienia normy IEC 61508.

Projektantów, wykonawców i użytkowników obowiązują też normy dotyczące określonych zastosowań. Jest to na przykład norma IEC 61511 "Bezpieczeństwo funkcjonalne - Przyrządowe systemy bezpieczeństwa do sektora przemysłu procesowego" dla przemysłu procesowego i norma EN 62061 "Bezpieczeństwo maszyn -- Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem" dla budowy maszyn.

Termometr elektryczny może być stosowany w przyrządowym systemie bezpieczeństwa zgodnie z normą IEC 61508, jeżeli termometr jest używany w połączeniu z przetwornikiem temperatury certyfikowanym dla zastosowań związanych z bezpieczeństwem. Przetwornik temperatury WIKA modelu T32.xS zaprojektowano zgodnie z normą IEC 61508 do stosowania w przemyśle procesowym i uzyskał certyfikat TÜV Rheinland dla tego zastosowania.

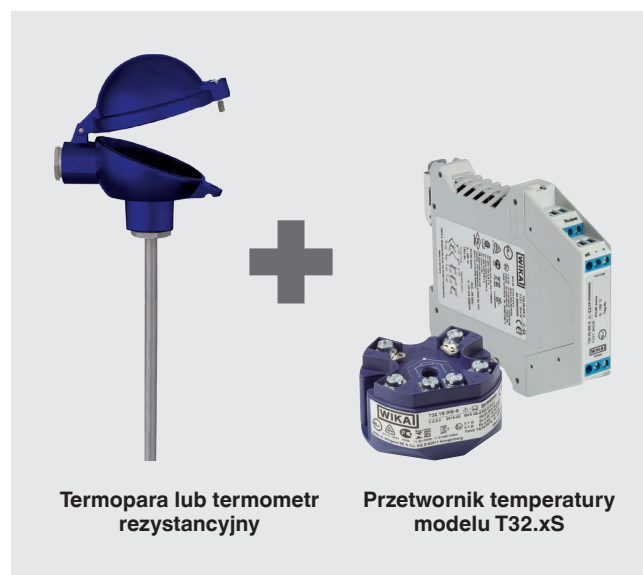
Termometr elektryczny bez przetwornika temperatury - na przykład termometr rezystancyjny lub termopara - nie spełnia wymagań normy IEC 61508, jeżeli (na przykład) rezystor pomiarowy jest zwykłym elementem elektrycznym, który nie posiada funkcji samodiagnostyki ani nie wykrywa błędów.

W przypadku termometrów elektrycznych bez przetwornika temperatury zgodnego z normą IEC 61508 mogą być podane tylko wskaźniki awaryjności. Wynika to z faktu, że od przyrządu analizującego użytkownika zależy, jakie typy awarii mogą być bezpiecznie wykrywane w termometrze elektrycznym.

Certyfikacja przetwornika temperatury modelu T32.xS dopuszcza go do pracy w kombinacji z termometrem elektrycznym. W instrukcji bezpieczeństwa przetwornika temperatury modelu T32.xS" podane są związane z bezpieczeństwem wartości parametrów przetwornika temperatury, podłączonych czujników temperatury i całego zespołu.

Na potrzeby przeprowadzenia oceny podsystem sensorów jest podzielony na "termometr elektryczny (czujnik temperatury)" i "przetwornik temperatury". Czujniki temperatury są sklasyfikowane jako komponenty typu A (komponent podstawowy), a przetwornik temperatury jako komponenty typu B (komponent złożony).

Podsystem sensorów składający się z przetwornika temperatury i czujnika temperatury



Ocena systemów związanych z bezpieczeństwem

Prawdopodobieństwo wykonania funkcji bezpieczeństwa na żądanie (tzn. gdy wystąpi błąd systemu) określa poziom nienaruszalności bezpieczeństwa. Aby uzyskać miarodajne wymagania dotyczące nienaruszalności bezpieczeństwa, wprowadzono cztery poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL). W przypadku poziomu SIL 4 prawdopodobieństwo wykonania funkcji bezpieczeństwa jest najwyższe, to znaczy, że zapewniona jest maksymalna redukcja potencjalnego ryzyka.



Poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa

Termin "SIL" (ang. safety integrity level) jest zatem ważnym parametrem systemu bezpieczeństwa, jednakże jest on często stosowany jako synonim "bezpieczeństwa funkcjonalnego".

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa odnosi się zawsze do całego systemu bezpieczeństwa. Określony element nie posiada poziomu SIL, jednakże może nadawać się do zastosowań SIL. Na przykład sam przetwornik temperatury modelu T32.xS nie tworzy systemu związanego z bezpieczeństwem. Użytkownik jest odpowiedzialny za określenie i zachowanie wymaganego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa zarówno dla całego systemu bezpieczeństwa, jak i jego poszczególnych elementów!

Jako producent termometrów elektrycznych WIKA wspiera użytkowników w spełnieniu tych wymogów. Z jednej strony poprzez zaświadczenie spełnienia wymogów normy IEC 61508 przy projektowaniu modelu T32.xS. Z drugiej strony użytkownik może uzyskać stosowne dane dotyczące bezpieczeństwa, wymagane do zaprojektowania urządzenia i oceny funkcji bezpieczeństwa.

Wymagania wobec systemu bezpieczeństwa

W celu określenia punktu pomiarowego temperatury dostosowanego do systemu związanego z bezpieczeństwem należy uwzględnić poniższe aspekty:

- Bezpieczny stan urządzenia i funkcja bezpieczeństwa każdego elementu muszą być określone przez użytkownika urządzenia.
- Wymagany poziom nienaruszalności bezpieczeństwa musi zdefiniować użytkownik systemu bezpieczeństwa poprzez ocenę ryzyka, np. w formie wykresów ryzyka.
- Należy dokładnie zdefiniować warunki pracy termometru (medium procesowe, wpływy otoczenia) w celu optymalnego określenia punktu pomiaru temperatury we współpracy z firmą WIKA.
- Należy przestrzegać instrukcji podanych w dokumentacji WIKA stosowanego termometru.
- Sprawdzić, czy części zwilżane są odpowiednie dla medium pomiarowego.

Podstawowym warunkiem optymalnego bezpieczeństwa w punkcie pomiaru temperatury jest prawidłowa konstrukcja termometru elektrycznego odpowiadająca wymaganiom procesowym. Kolejnym krokiem jest dobór dostosowanego do systemów bezpieczeństwa przetwornika temperatury, który wykryje możliwie jak najwięcej typów błędów termometru elektrycznego i samego przetwornika.

Określenie maksymalnie możliwego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa na przykładzie przetwornika temperatury modelu T32.xS

Aby określić poziom nienaruszalności bezpieczeństwa systemu związanego z bezpieczeństwem, należy zdefiniować wymagania dotyczące zarówno nienaruszalności bezpieczeństwa systemu, jak nienaruszalności bezpieczeństwa sprzętu.

Nienaruszalność bezpieczeństwa systemu

Aby spełnić wymagania dotyczące nienaruszalności bezpieczeństwa systemu, należy uwzględnić awarie systemowe. Awarie systemowe to błędy konstrukcyjne, produkcyjne lub operacyjne. Aby je ograniczyć, norma IEC 61508 określa środki bezpieczeństwa podejmowane przez cały cykl życia produktu (systemu technicznego). Cykl życia systemu bezpieczeństwa rozpoczyna się od zaprojektowania, a kończy się wraz z wycofaniem z eksploatacji. W ramach systemu zarządzania bezpieczeństwem podczas projektowania modelu T32.xS wyeliminowano awarie systemowe poprzez walidację i weryfikację, a także dzięki zastosowaniu procedur projektowych i dokumentacyjnych. Dlatego też oprogramowanie modelu T32.xS spełnia nawet kryteria poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL 3.

Nienaruszalność bezpieczeństwa sprzętu

Błędy losowe

Aby ocenić nienaruszalność bezpieczeństwa sprzętu, należy uwzględnić błędy losowe. Są one wywołane przez przypadkowe zmiany w zachowaniu komponentów, np. obwód otwarty (rozwarcie), obwód zamknięty (zwarcie) lub przypadkowa zmiana wartości kondensatora w obwodzie elektrycznym. Błędów losowych nie można uniknąć. Oszacować można jedynie prawdopodobieństwo wystąpienia takich błędów. Wskaźnik awaryjności jest podawany w jednostce FIT (ang. Failures in Time).

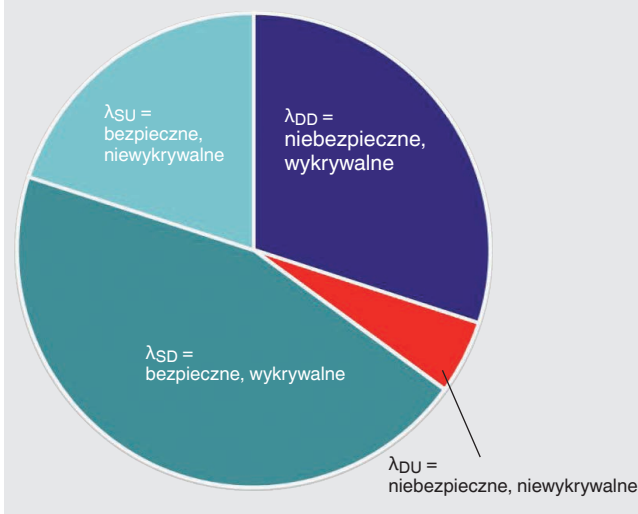
Określa się go jako: $1 \text{ FIT} = 10^{-9} \frac{1}{h}$

Łączna liczba wszystkich awarii w przedziale czasowym względem stałego wskaźnika awaryjności jest nazywana podstawowym wskaźnikiem awaryjności λ_B . Podstawowy wskaźnik awaryjności składa się z błędów szkodliwych λ_D = niebezpiecznych oraz błędów nieszkodliwych λ_S = bezpiecznych, które wpływają na funkcję bezpieczeństwa.

$$\lambda = \lambda_S + \lambda_D$$

W zależności od tego, czy błąd zostanie na przykład wykryty przez funkcję diagnostyczną układu elektronicznego w systemie bezpieczeństwa, czy też pozostanie niewykryty, błędy szkodliwe i nieszkodliwe dzielą się na dalsze kategorie.

Podział wskaźników awaryjności



Typy awarii w termometrze elektrycznym

W termometrze elektrycznym mogą wystąpić następujące awarie:

- Obwód otwarty (rozwarcie) - obwód pomiarowy jest przerwany
- Obwód zamknięty (zwarcie) - dwa kable połączeniowe zostają przypadkowo połączone ze sobą
- Dryf spowodowany zmianami w materiale rezystora bądź dryf w napięciu termoelektrycznym
- Zmiana w rezystancji przewodu, np. wskutek wahań temperatury

Zależnie od funkcji detekcji błędów stosowanego przetwornika temperatury należy określić typ awarii (λ_{SD} , λ_{SU} , λ_{DD} , λ_{DU}) dla różnych błędów w termometrze elektrycznym.

Tabela 1: Detekcja błędów w przetworniku temperatury modelu T32.xS

Możliwe awarie w termometrach elektrycznych	Termometr rezystancyjny, połączenie 2-przewodowe	Termometr rezystancyjny, połączenie 3-przewodowe	Termometr rezystancyjny, połączenie 4-przewodowe	Termopara
Obwód otwarty (rozwarcie)	λ_{DD}	λ_{DD}	λ_{DD}	λ_{DD}
Obwód zamknięty (zwarcie)	λ_{DD}	λ_{DD}	λ_{DD}	λ_{DU}
Dryf	λ_{DU}	λ_{DU}	λ_{DU}	λ_{DU}
Zmiana w rezystancji przewodu	λ_{DU}	$\lambda_{DD}^{1)}$	λ_{DD}	λ_{DD}

1) Zmiana rezystancji w połączeniu 3-przewodowym może być jedynie wykryta z uwzględnieniem faktu, że przewody połączeniowe między rezystorem pomiarowym i przetwornikiem mają tę samą długość i przekrój.

Wskaźniki awaryjności termopar i termometrów rezystancyjnych podane są w literaturze dla różnych zastosowań i konfiguracji. Wskaźniki awaryjności odnoszą się do "najgorszego przypadku" awarii termometru i służą jako wytyczne do projektowania przyrządowych systemów bezpieczeństwa. Wskaźniki awaryjności należy stosować z uwzględnieniem warunków pracy i przewodu połączeniowego między punktem pomiarowym i przetwornikiem. Różnią się one w zależności od wymagań dotyczących wibracji występujących w miejscu eksploatacji (niskie obciążenie/wysokie obciążenie) i typu połączenia między punktem pomiarowym i przetwornikiem temperatury (bezpośrednio sprzężone/przewód przedłużeniowy) (patrz "Definicje i skróty").

Tabela 2: Wskaźniki awaryjności termopar bez przetwornika temperatury ²⁾

Typ błędu	Bezpośrednio sprzężone		Przewód przedłużeniowy	
	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie
Obwód otwarty (rozwarcie)	95 FIT	1900 FIT	900 FIT	18000 FIT
Obwód zamknięty (zwarcie)	4 FIT	80 FIT	50 FIT	1000 FIT
Dryf	1 FIT	20 FIT	50 FIT	1000 FIT

2) Podane wskaźniki awaryjności opierają się na obliczeniach firmy WIKA z wykorzystaniem kluczowych danych z bazy exida.com L.L.C. (patrz strona 12 "Literatura i źródła", "Exida")

Tabela 3: Wskaźniki awaryjności termometrów rezystancyjnych o połączeniu 4-przewodowym bez przetwornika temperatury 2)

Typ błędu	Bezpośrednio sprzężone		Przewód przedłużeniowy	
	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie
Obwód otwarty (rozwarcie)	42 FIT	830 FIT	410 FIT	8200 FIT
Obwód zamknięty (zwarcie)	3 FIT	50 FIT	20 FIT	400 FIT
Dryf	6 FIT	120 FIT	70 FIT	1400 FIT

Tabela 4: Wskaźniki awaryjności termometrów rezystancyjnych o połączeniu 2-przewodowym lub 3-przewodowym bez przetwornika temperatury 2)

Typ błędu	Bezpośrednio sprzężone		Przewód przedłużeniowy	
	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie	Niskie obciążenie	Wysokie obciążenie
Obwód otwarty (rozwarcie)	38 FIT	758 FIT	371 FIT	7410 FIT
Obwód zamknięty (zwarcie)	1 FIT	29 FIT	10 FIT	190 FIT
Dryf	9 FIT	173 FIT	95 FIT	1900 FIT

2) Podane wskaźniki awaryjności opierają się na obliczeniach firmy WIKA z wykorzystaniem kluczowych danych z bazy exida.com L.L.C. (patrz strona 12 "Literatura i źródła", "Exida")

Ograniczenie poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa elementu

Maksymalnie możliwy poziom SIL elementu systemu bezpieczeństwa jest ograniczony następującymi czynnikami:

- Proporcja bezpiecznych awarii sprzętu (udział awarii bezpiecznych, ang. Safe Failure Fraction, SFF)
- Tolerancja błędów sprzętu (ang. Hardware Fault Tolerance, HFT)
Tolerancja błędów sprzętu stanowi miarę stopnia redundancji systemu bezpieczeństwa. Tolerancja błędów sprzętu N, N+1 oznacza minimalną liczbę błędów mogących prowadzić do utraty funkcji bezpieczeństwa. Przyrzadowy system bezpieczeństwa o architekturze jednokanałowej ma tolerancję błędów sprzętu 0.
- Złożoność komponentów (komponenty typu A i B)
 - Komponenty typu A to komponenty podstawowe, których awaryjność jest w pełni określona i których usterki są wykryte. Komponenty typu A to na przykład rezystancyjne czujniki temperatury i termopary.
 - W przypadku złożonych komponentów typu B awaryjność co najmniej jednego komponentu nie jest określona bądź nie jest w pełni określona. Komponentem typu B jest na przykład obwód elektroniczny zawierający mikroprocesor. Przetwornik temperatury T32.xS jest określony jako komponent typu B (patrz tabela 5).

Aby obliczyć wartość SFF rezystancyjnych czujników temperatury i termopar podłączonych do przetwornika temperatury T32.xS, wskaźniki awaryjności czujników temperatury należy podzielić na podkategorie (λ_S , λ_{DD} , λ_{DU}), uwzględniając funkcję diagnostyczną przetwornika. Wartość SFF oblicza się według poniższego wzoru:

$$SFF = \frac{\lambda_{DD} + \lambda_S}{\lambda_{DU} + \lambda_{DD} + \lambda_S}$$

Czujniki temperatury określone jako komponenty typu A o architekturze jednokanałowej ($HFT = 0$) należy stosować w przyrzadowych systemach bezpieczeństwa do poziomu SIL 2, a wartość $SFF \geq 60\%$ jest zachowana zgodnie z tabelą 5. W przypadku tego samego zastosowania, dla przetwornika temperatury T32.xS jako komponentu typu B wymagana jest wartość $SFF \geq 90\%$.

Tabela 5: Maksymalny poziom nienaruszalności bezpieczeństwa komponentu w zależności od tolerancji błędów sprzętu, złożoności komponentów i udziału awarii bezpiecznych

SFF	Tolerancja błędów sprzętu		1		2	
	0 Typ A	Typ B	Typ A	Typ B	Typ A	Typ B
< 60 %	SIL 1	niedozwolone	SIL 2	SIL 1	SIL 3	SIL 2
60 ... < 90 %	SIL 2	SIL 1	SIL 3	SIL 2	SIL 4	SIL 3
90 ... < 99 %	SIL 3	SIL 2	SIL 4	SIL 3	SIL 4	SIL 4
≥ 99 %	SIL 3	SIL 3	SIL 4	SIL 4	SIL 4	SIL 4

Tylko jeżeli wartość SFF przetwornika temperatury i czujnika temperatury odpowiada podanym wartościom granicznym, elementy te są dozwolone dla przyrzadowych systemów bezpieczeństwa o odpowiednim poziomie SIL. Ponadto wartość PFD całej funkcji bezpieczeństwa musi spełniać wymagania z tabeli 6.

Ograniczenie poziomu SIL całego systemu bezpieczeństwa

Norma IEC 61508 określa wartości ograniczające poziom nienaruszalności bezpieczeństwa całego systemu bezpieczeństwa. W zależności od tego, jak często wymagana jest interwencja systemu bezpieczeństwa, różni się dwie wartości charakterystyczne:

- **PFH** (prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej awarii na godzinę)

Średnia częstość wystąpienia niebezpiecznej awarii funkcji bezpieczeństwa w trybie pracy z wysokim lub stałym wskaźnikiem żądania (wysokie żądanie). Tryby te są szczególnie ważne w budowie maszyn.

- **PFD_{avg}** (prawdopodobieństwo wystąpienia awarii na żądanie)

Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej awarii na żądanie funkcji bezpieczeństwa w trybie pracy z niskim wskaźnikiem żądania (niskie żądanie).

T_{proof} wskazuje interwał powtórnego testowania. Po upływie tego interwału, na drodze odpowiedniego testu (test kontrolny), system jest doprowadzany do prawie "nowego" stanu w obrębie przewidywanego okresu użytkowania. Za pomocą tego testu można wykryć też niebezpieczne niewykrywalne błędy. W przypadku termometru elektrycznego regularna kalibracja zapewnia ciągłe utrzymywanie zmierzonej wartości w zakresie wymaganej dokładności. Dzięki temu wykluczony jest też niedopuszczalnie wysoki dryf.

Z interwału testów kontrolnych wynoszącego jeden rok ($T_{proof} = 8760$ h), dla termometru rezystancyjnego o połączeniu 4-przewodowym i podłączonego przetwornika temperatury modelu T32.xS wynikają następujące wartości PFD_{avg}:

- Warunki otoczenia: niskie obciążenie
- Połączenie między punktem pomiarowym i przetwornikiem: bezpośrednio sprzężone
- Wskaźnik awaryjności $\lambda_{DU} = 16$ FIT³⁾

$$PFD_{avg} = 0,5 * \lambda_{DU} * T_{proof}$$

$$= 0,5 * 16 \text{ FIT} * 8760 \text{ h} = 7,15 * 10^{-5}$$

Ze względu na wymaganą wartość PFD_{avg} kombinacja ta jest odpowiednia dla systemów bezpieczeństwa o podwyższonym poziomie nienaruszalności bezpieczeństwa SIL 2, jednakże z powodu architektury jednokanałowej (patrz "Ograniczenie poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa elementu") i wartości SFF jest ograniczona do poziomu SIL 2.

Opisany wyżej wzór pochodzi z normy IEC 61508. Zakłada się, że okres 8 godzin potrzebny do naprawy systemu jest pomijalnie mały w porównaniu z interwałem testów kontrolnych wynoszącym 8760 godz.

Wartość PFD_{avg} jest zgodna nieomal liniowo z interwałem testów kontrolnych T_{proof} . Im krótszy interwał testów kontrolnych, tym lepiej osiągalna jest wartość PFD_{avg}. Podobnie zwiększyć można interwał testów kontrolnych, jeżeli wartość PFD_{avg} całego systemu jest niższa niż dopuszczalna wartość graniczna. Jeżeli interwał testów kontrolnych zostanie skrócony do 1/2 roku, wartość PFD_{avg} zmniejszy się o połowę, a przy wydłużeniu do 2 lat, podwoi się.

Im mniejsza wartość PFD_{avg} lub PFH, tym wyższy jest osiągalny poziom SIL całego systemu. W tabeli 6 charakterystycznym wartościom PFD_{avg} lub PFH przypisany jest poziom nienaruszalności bezpieczeństwa.

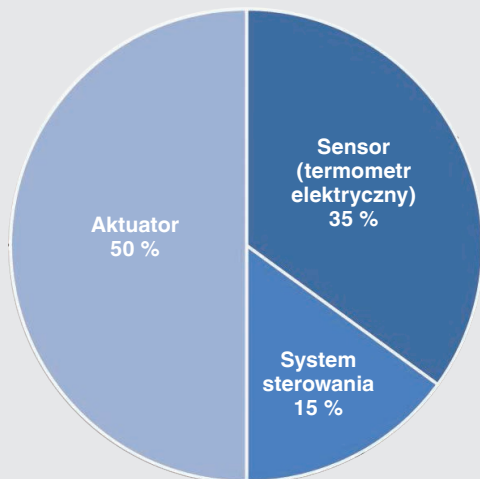
Tabela 6: Ograniczenie poziomu SIL systemu bezpieczeństwa przez wartości PFD_{avg} i PFH

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)	Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej awarii na żądanie funkcji bezpieczeństwa (PFD _{avg})	Średnia częstość wystąpienia niebezpiecznej awarii na godzinę (PFH)
4	$\geq 10^{-5}$ do $< 10^{-4}$	$\geq 10^{-9}$ do $< 10^{-8} \text{ h}^{-1}$
3	$\geq 10^{-4}$ do $< 10^{-3}$	$\geq 10^{-8}$ do $< 10^{-7} \text{ h}^{-1}$
2	$\geq 10^{-3}$ do $< 10^{-2}$	$\geq 10^{-7}$ do $< 10^{-6} \text{ h}^{-1}$
1	$\geq 10^{-2}$ do $< 10^{-1}$	$\geq 10^{-6}$ do $< 10^{-5} \text{ h}^{-1}$

3) patrz strona 12 "Literatura i źródła", instrukcja bezpieczeństwa "Informacje o bezpieczeństwie funkcjonalnym przetwornika temperatury modelu T32.xS"

Dla użytkownika systemu ważna jest zawsze wartość PFD_{avg} całego systemu bezpieczeństwa, a nie wartość pojedynczego elementu. Przedstawione niżej rozłożenie wartości PFD_{avg} dla systemu bezpieczeństwa przyjęto jako podstawę oceny:

Rozkład sensora, kontrolera i aktuatora w całkowitej wartości PFD systemu SIS



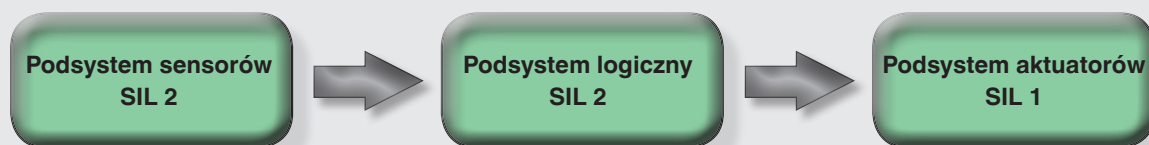
Użytkownik urządzenia może określić różne rozmieszczenie komponentów.

Jeżeli czujnik wykorzystuje mniej niż 35% maksymalnie dopuszczalnej wartości PFD_{avg} systemu bezpieczeństwa, jak w przypadku termometru elektrycznego z przetwornikiem temperatury modelu T32.xS, to użytkownik może użyć kontrolera i aktuatora o odpowiednio niższych wartościach PFD_{avg} .

Ograniczenia strukturalne

Charakterystyka strukturalna przyrządowego systemu bezpieczeństwa może ograniczyć maksymalnie osiągalny poziom SIL. W architekturze jednokanałowej maksymalny poziom SIL jest wyznaczony przez najsłabsze łącze. W przedstawionym systemie bezpieczeństwa podsystemy "sensor" i "logiczny" nadają się do poziomu SIL 2, podczas gdy podsystem "aktuator" nadaje się tylko do poziomu SIL 1. Z tego powodu cały system bezpieczeństwa może osiągnąć maksymalnie tylko poziom SIL 1.

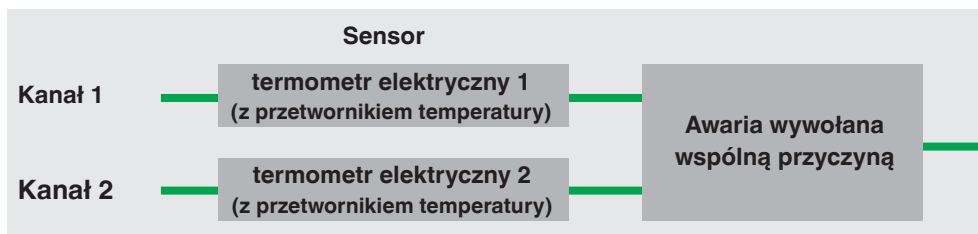
Komponenty systemu związanego z bezpieczeństwem



Systemy redundancjne

Jeżeli dwa termometry elektryczne z przetwornikiem temperatury modelu T32.xS są połączone równolegle, należy uwzględnić awarie wywołane wspólną przyczyną. Awary wywołane wspólną przyczyną mogą wystąpić na przykład wtedy, gdy warunki otoczenia lub interferencje elektromagnetyczne oddziałują jednocześnie na kilka kanałów. Błędy te wpływają na wszystkie kanały systemu redundancznego w tym samym czasie.

Schemat blokowy niezawodności: termometr elektryczny w konfiguracji redundancznej



Termometry elektryczne z poprzedniej ilustracji reprezentują w tym przypadku system o architekturze dwukanałowej (1oo2). Taka struktura jest nazywana systemem MooN. System MooN (M na N) obejmuje N niezależnych kanałów, z których M kanałów musi działać niezawodnie, aby cały system mógł wykonywać funkcję bezpieczeństwa.

Wystąpienie awarii wywołanych wspólną przyczyną jest mniej prawdopodobne, jeżeli dwa termometry elektryczne możliwie jak najbardziej różnią się od siebie pod względem konstrukcji, zasady pomiaru i oprogramowania. Dlatego też termometr rezystancyjny może na przykład być użyty w jednym kanale, a termopara w drugim kanale. W celu przeprowadzenia pomiarów jedna osłona termometryczna może być użyta w termometrze rezystancyjnym, a druga w termoparze, albo pojedynczą osłonę termometryczną można zastosować w obu przyrządach. W przypadku stosowania pojedynczej osłony termometrycznej awarie wywołane wspólną przyczyną są odpowiednio bardziej prawdopodobne. Ponadto wyższe zróżnicowanie ma miejsce wtedy, gdy stosowane przetworniki temperatury pochodzą od różnych producentów i różnią się zarówno swoją konstrukcją, jak i oprogramowaniem.

Szczególnie przetwornik temperatury WIKA modelu T32.xS ma tę zaletę, że może być stosowany w systemach homogenicznie redundancznych do poziomu SIL 3. Oznacza to, że termometr elektryczny z przetwornikiem temperatury modelu T32.xS jest połączony równolegle z drugim termometrem ze strukturalnie identycznym przetwornikiem. W architekturze jednokanałowej przetwornik nadaje się do poziomu SIL 2. Ze względu na zgodność kompletnego projektowania i certyfikacji przetwornika temperatury modelu T32.xS ze wszystkimi aspektami normy IEC 61508 (pełna ocena projektowania), przetwornik nadaje się też do pracy w homogenicznie redundancznych instalacjach dla zastosowań SIL 3. Już w fazie projektowania opracowano środki zapobiegające błędom z uwzględnieniem pracy w zastosowaniach SIL 3. Z tego powodu przetwornik temperatury modelu T32.xS różni się od sprawdzonych operacyjnie przyrządów, które nadają się do zastosowań SIL tylko na podstawie wcześniejszej eksploatacji.

Sprawdzone operacyjnie przyrządy połowe o architekturze dwukanałowej osiągają maksymalny poziom SIL pojedynczego przyrządu. W przeciwieństwie do przetwornika temperatury modelu T32.xS błędy systemowe w tych przyrządach nie są wyeliminowane lub ograniczone w pierwszej kolejności, np. w fazie projektowania przyrządu.

W celu uwzględnienia skutków awarii wywołanych wspólną przyczyną wymagany jest "współczynnik β " do obliczenia wartości PFD systemów redundancznych. Współczynnik β odnosi się do udziału niewykrytych awarii wywołanych wspólną przyczyną. Zgodnie z normą IEC 61508-6 i przy uwzględnieniu, że okres 8 godz. potrzebny do naprawy systemu jest pomijalnie mały w porównaniu z interwałem testów kontrolnych wynoszącym 8760 godz., wartość PFD dla architektury 1oo2 jest obliczana na podstawie poniższego uproszczonego wzoru:

$$PFD_{1oo2} = \frac{\lambda_{DU}^2 * T_{proof}^2}{3} + 0,5 * \lambda_{DU} * T_{proof} * \beta$$

Aby określić współczynnik β , należy zdefiniować najpierw środki ograniczające występowanie awarii wywołanych wspólną przyczyną. W ramach oceny technicznej należy określić we współpracy z firmą WIKA, w jakim zakresie każdy podjęty środek redukuje występowanie awarii wywołanych wspólną przyczyną.

Podsumowanie zaleceń

Aby zapewnić optymalną konstrukcję punktu pomiaru temperatury w zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem, należy przestrzegać wymagań opisanych w rozdziale "Wymagania wobec systemu bezpieczeństwa".

W zastosowaniach związanych z bezpieczeństwem zaleca się ponadto, aby przetwornik temperatury modelu T32.xS (wersja montażu głowicowego lub szynowego) był stosowany w kombinacji z termometrem rezystancyjnym w połączeniu 4-przewodowym lub z termoparą. Dzięki zaawansowanym funkcjom diagnostycznym modelu T32.xS i zaletom połączenia 4-przewodowego zagwarantowany jest wysoki stopień bezpieczeństwa pomiarów temperatury.

Aby chronić wkład pomiarowy przed medium procesowym oraz umożliwić szybką i łatwą kalibrację termometru elektrycznego, należy użyć odpowiednich osłon ochronnych termometru z wymiennymi wkładami pomiarowymi. Należy zwrócić szczególną uwagę na właściwą konstrukcję osłony termometrycznej zgodnie z wymaganiami procesowymi.

Literatura i źródła

- 1.) IEC 61508:2010:
Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/
elektronicznych/programowalnych elektronicznych
systemów związanych z bezpieczeństwem
Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- 2.) Exida:
Safety Equipment Reliability Handbook - 3rd Edition, 2012,
exida.com L.L.C.
- 3.) WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG:
Instrukcja bezpieczeństwa "Informacje o bezpieczeństwie
funkcyjnym przetwornika temperatury modelu T32.xS"
(od wersji oprogramowania sprzętowego 2.2.3)

Skróty i definicje

Skrót	Definicja
Bezpośrednio sprężone	Przetwornik temperatury jest umieszczony w głowicy przyłączeniowej termometru elektrycznego (montaż głowicowy).
DC	Pokrycie diagnostyczne (ang. diagnostic coverage)
Przewód przedłużeniowy	Przetwornik temperatury jest umieszczony poza głowicą przyłączeniową termometru elektrycznego i znajduje się na przykład w szafie oddalonej od punktu pomiarowego (montaż zdalny).
FIT	Awarye w jednostce czasu (ang. failures in time)
HFT	Hardware Fault Tolerance (tolerancja błędów sprzętu)
Wysokie obciążenie	Zastosowania z wibracjami ($\geq 67\%$ maksymalnej odporności na wibracje termometru elektrycznego)
Niskie obciążenie	Niskie wibracje ($\geq 67\%$ maksymalnej odporności na wibracje termometru elektrycznego)
PFD_{avg}	Średnie prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej awarii na żądanie funkcji bezpieczeństwa
PFH	Średnia częstość wystąpienia niebezpiecznej awarii funkcji bezpieczeństwa
RTD	Termometr rezystancyjny (ang. R esistance T emperature D etector)
SFF	Udział awarii bezpiecznych (ang. Safe Failure Fraction, SFF) elementu sprzętowego
SIS	Przyrządowy system bezpieczeństwa (ang. Safety Instrumented System)
TC	Termopara (ang. T hermo c ouple)
TR	Termometr rezystancyjny (ang. T emperature R esistance)

Wpływ ponownej oceny przetwornika temperatury modelu T32.xS (od wersji oprogramowania sprzętowego 2.2.3) na wartości związane z bezpieczeństwem

W ramach ponownej oceny nie dokonano na przetworniku temperatury żadnych modyfikacji związanych z bezpieczeństwem. Pokrycie diagnostyczne przetwornika pozostaje niezmiennie. Jedynie nowa procedura oceny doprowadziła do zmiany wartości związanych z bezpieczeństwem.

Nowe wydanie normy IEC 61508

Od początkowej oceny przetwornika temperatury modelu T32.xS podstawowa norma dotycząca bezpieczeństwa funkcjonalnego IEC 61508 "Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem" została zaktualizowana do wersji IEC 61508:2010. Od wersji oprogramowania sprzętowego 2.2.3 model T32.xS będzie oceniany na podstawie tego wydania normy.

Zaktualizowane wskaźniki awaryjności

W tym kontekście metoda analizy diagnostycznej rodzajów i skutków możliwych awarii FMEDA (ang. Failure Modes, Effects and Diagnostic Analysis) została powtórzona przy użyciu aktualnych wskaźników awaryjności komponentów. Obliczenia opierały się na wskaźnikach awaryjności komponentów zgodnie z normą SN29500. W przypadku rezystancyjnych czujników temperatury i termopar podłączonych do przetwornika temperatury zastosowano wskaźniki awaryjności określone przez exida.com LLC.

Analiza elementów podsystemu "sensorów"

Wraz z wprowadzeniem terminu "element" do normy IEC 61508-4:2010 sekcja 3.4.5 połączenie między przetwornikiem temperatury a termometrem elektrycznym jako podsystem "sensorów" zostało uwzględnione i ocenione w następujący sposób:

Element 1	Element 2
Termometr elektryczny bez przetwornika (termopara lub termometr rezystancyjny)	Przetwornik temperatury modelu T32.xS (bez termopary lub termometru rezystancyjnego)
Typ A / SFF $\geq 60\%$ dla HFT = 0 i SIL 2	Typ B / SFF $\geq 90\%$ dla HFT = 0 i SIL 2

Odrębne uwzględnienie wpływa na ocenę wartości SFF. Na przykład wymagana wartość SIL 2 SFF dla termopar lub termometrów rezystancyjnych spada do 60%.

Wskaźniki awaryjności odnoszące się do zastosowań

Po ponownej ocenie modelu T32.xS określono wskaźniki awaryjności dla konkretnego zastosowania w zależności od poziomu wibracji w punkcie montażu termometru elektrycznego i od podłączenia termometru do przetwornika. Ponadto obliczono wskaźniki awaryjności "samodzielnego" przetwornika temperatury dla różnych konfiguracji.

Raczej poprawione wskaźniki awaryjności

Wskaźniki awaryjności przetwornika T32.xS z podłączoną termoparą lub czujnikiem rezystancyjnym wykazały tendencję poprawy. Szczególnie w odniesieniu do warunków "niskie obciążenie, bezpośrednio sprzężone" zmniejszyły się wskaźniki awaryjności dotyczące niebezpiecznych niewykrywalnych błędów.

Wpływ na wartość PFD_{avg}

Szczególnie w odniesieniu do warunków "niskie obciążenie, bezpośrednio sprzężone" wartość PFD_{avg} uległa poprawie. W razie potrzeby pozwala to użytkownikowi na stosowanie podsystemu logicznego lub podsystemu aktuatorów o odpowiednio wyższych wartościach PFD_{avg} w przyrządowym systemie bezpieczeństwa bądź na wydłużenie interwału testów kontrolnych.

© 2013 WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, wszelkie prawa zastrzeżone.
Specyfikacje i wymiary podane w niniejszej karcie przedstawiają stan konstrukcyjny aktualny w momencie wydruku.
Istnieje możliwość wprowadzenia modyfikacji i zmian specyfikacji materiałowej bez wcześniejszego powiadomienia.

