



Paweł Śmiech
v. 20230401

Bezpieczeństwo eksploatacji maszyn elektrycznych

Zagadnienia wybrane

Część V – bezpieczeństwo funkcjonalne maszyn



Licencja: CC BY-NC-ND 4.0

Cele i założenia prezentacji

Celem prezentacji jest zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń elektrycznych. Prezentacja jest przeznaczona dla osób wykonujących prace eksploatacyjne przy maszynach.

Prezentacja zawiera informacje dotyczące łączników samoczynnych takich jak styczniki i przekaźniki elektromagnetyczne, zestyków łączników samoczynnych ze szczególnym uwzględnieniem zestyków o wymuszonym przełączeniu, zestyków lustrzanych i zestyków łączników sterowniczych, które są łącznikami o skutecznym otwieraniu.

Prezentacja zawiera również podstawowe informacje dotyczące poziomu niezawodności (PL), poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) i oprogramowania SISTEMA.

Podane informacje są niewystarczające do określenia poziomu PL i SIL.

Założenia prezentacji:

- prezentacja zawiera podstawowe informacje techniczne, które nie są wystarczające do projektowania instalacji elektrycznych maszyn;
- prezentacja została opracowana na podstawie przepisów prawa powszechnego i zasad wiedzy technicznej;
- poprawność informacji nie jest gwarantowana;
- prezentacja dotyczy maszyn, do których stosuje się normę PN-EN 60204-1;
- prezentacja obejmuje zagadnienia wybrane.

Spis treści

- **Bezpieczeństwo układów sterowania**
- **Łączniki samoczynne (przełączniki i styczniki)**
- **Zestyki przełączników**
- **Zestyki styczników**
- **Zestyki łączników sterowniczych**
- **Przełączniki bezpieczeństwa**
- **Kategorie**
- **Funkcje bezpieczeństwa**
- **Poziom niezawodności (PL)**
- **Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)**
- **Przykład obliczenia PL**
- **SISTEMA**

Bezpieczeństwo układów sterowania

Bezpieczeństwo układów sterowania

System bezpieczeństwa jako część układu sterowania, przeznaczony do zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego maszyn, powinien mieć odpowiedni poziom niezawodności. Jeżeli uszkodzenia lub zakłócenia w układach sterowania mogą spowodować zagrożenia, to należy podjąć środki minimalizujące prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń lub zakłóceń. Środki bezpieczeństwa dobiera się na podstawie oceny ryzyka.

Układy sterowania (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 18. 1. Układy sterowania należy zaprojektować i wykonać tak, aby:

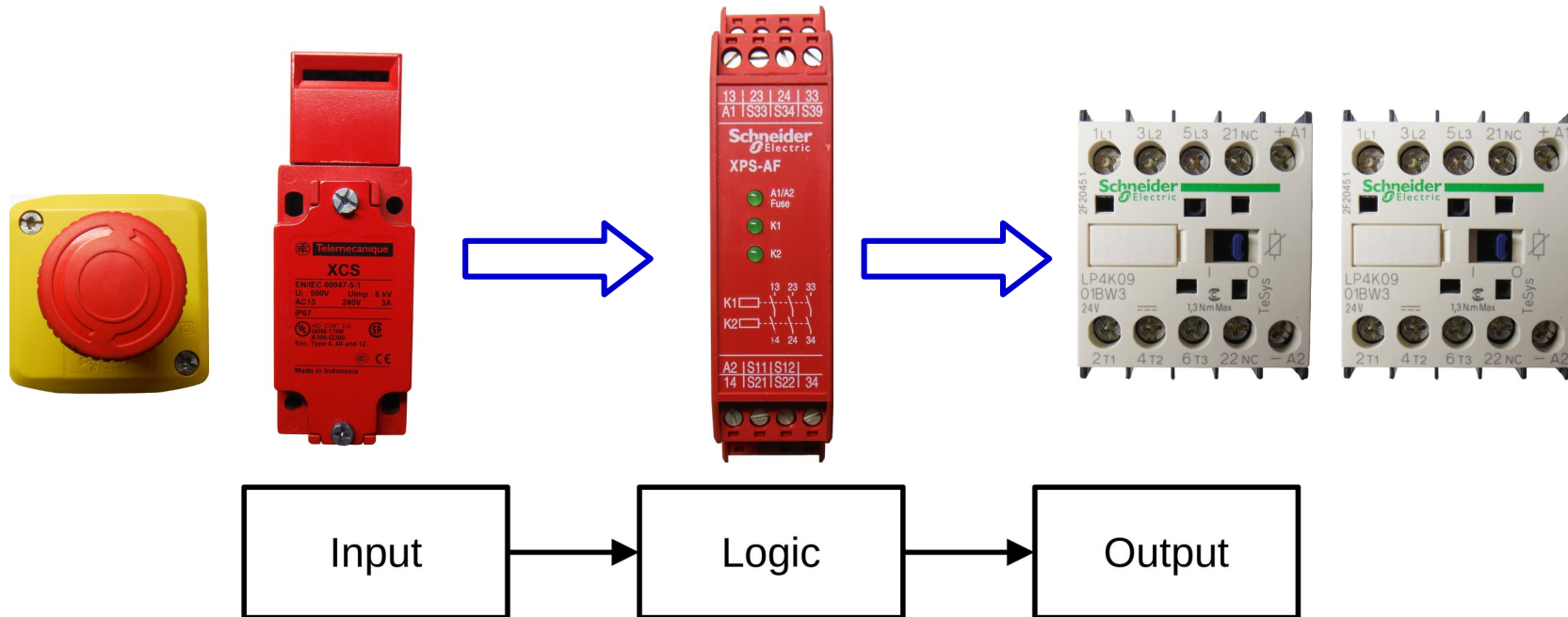
- 1) zapewniały bezpieczeństwo oraz zapobiegały powstawaniu sytuacji zagrożenia;*
- 2) defekty sprzętu komputerowego i oprogramowania układu sterowania nie prowadziły do powstawania sytuacji niebezpiecznych;*
- 3) były odporne na obciążenia wynikające z zamierzonego zastosowania i wpływy czynników zewnętrznych;*
- 4) błędy w układach logicznych nie doprowadzały do powstawania sytuacji niebezpiecznych;*
- 5) możliwe do przewidzenia błędy ludzkie w trakcie pracy nie prowadziły do powstawania sytuacji niebezpiecznych.*

Bezpieczeństwo układów sterowania

Struktura systemów bezpieczeństwa

Elementy układy sterowania związane z bezpieczeństwem funkcjonalnym, zgrubnie można podzielić na trzy podstawowe części:

- urządzenia wejściowe – **wejście** (ang. input), np. łączniki przyciskowe, łączniki krańcowe, czujniki zbliżeniowe;
- urządzenia przetwarzające sygnały wejściowe – **logika** (ang. logic), np. przekaźniki bezpieczeństwa, sterowniki PLC bezpieczne w przypadku uszkodzenia (ang. fail-safe);
- urządzenia wyjściowe – **wyjście** (ang. output), np. przekaźniki, styczniki, zawory elektromagnetyczne.



Bezpieczeństwo układów sterowania

Środki zmniejszania ryzyka w przypadku uszkodzenia

Wymagany poziom bezpieczeństwa funkcjonalnego określa się na podstawie oceny ryzyka, do oceny poziomu bezpieczeństwa układów sterowania stosuje się normy: PN-EN 62061 dotyczącą urządzeń elektrycznych, a szczególnie elektronicznych i programowalnych i normę PN-ISO 13849-1 łącznie z PN-ISO 13849-2, które są uniwersalne i dotyczą również układów sterowania innych niż elektryczne.

Projektowanie systemów bezpieczeństwa powinno uwzględniać środki minimalizujące prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń lub zakłóceń.

Środkami do zmniejszania ryzyka związanymi z wykonaniem systemów bezpieczeństwa (nie wykluczając innych), mogą być:

- stosowanie sprawdzonego wyposażenia i sprawdzonych technik wykonania;
- zatrzymanie przez odłączenie napięcia;
- stosowanie łączników o skutecznym otwieraniu, zestyków lustrzanych i zestyków o wymuszonym przełączaniu;
- stosowanie redundancji i różnicowania;
- projektowanie układów sterowania, tak aby zmniejszyć możliwość uszkodzeń powodujących wadliwe działanie;
- uziemianie obwodów sterowniczych w celu uniknięcia niezamierzonego uruchomienia elementów wykonawczych spowodowanego podwójnym zwarciem;
- blokady ochronne w obwodach elektrycznych.

Bezpieczeństwo układów sterowania

Awarie systematyczne

Awarie systematyczne to awarie związane w deterministyczny sposób z określonymi przyczynami, które mogą być związane m.in. z: projektem, specyfikacją, produkcją, montażem, obsługą, konserwacją. Awarie systematyczne są związane z błędami człowieka i zazwyczaj można je odtworzyć.

Awarie systematyczne można wyeliminować przez: zmianę projektu, dokumentacji, procesu produkcyjnego, procedur operacyjnych, procesów pracy lub innych istotnych czynników.

Szacowanie poziomu niezawodności układów bezpieczeństwa zgodnie z normą PN-EN ISO 13849-1 powinno zawierać m.in. ocenę środków zapobiegania awariom systematycznym.

Awarie systematyczne, które mogą spowodować utratę funkcji bezpieczeństwa w układach redundantnych, przez wyeliminowanie obu kanałów jednocześnie są określane jako awarie spowodowane wspólną przyczyną (CCF).

Zgodnie z normą PN-EN ISO 14849-2 w celu zapobiegania awariom systematycznym należy stosować podstawowe zasady bezpieczeństwa i sprawdzone zasady bezpieczeństwa.

Wśród częstych błędów w instalacjach elektrycznych, które mogą spowodować awarie systematyczne są:

- nieprawidłowa izolacja;
 - nieprawidłowy dobór elementów;
 - nieprawidłowy stopień ochrony przed warunkami środowiskowymi (IP);
 - brak uziemiania obwodów sterowniczych;
 - brak kontroli izolacji w nieziemionych obwodach sterowniczych;
 - brak kontroli wartości napięcia (zabezpieczenia nadnapięciowe i podnapięciowe);
 - brak tłumienia przepięć indukowanych na elementach indukcyjnych zagrażających uszkodzeniem wyposażenia;
 - brak zabezpieczenia na wypadek uszkodzenia CPU, urządzeń sterujących (np. sterowników PLC)
- i wiele innych wymienionych w ISO 13849-2.

Bezpieczeństwo układów sterowania

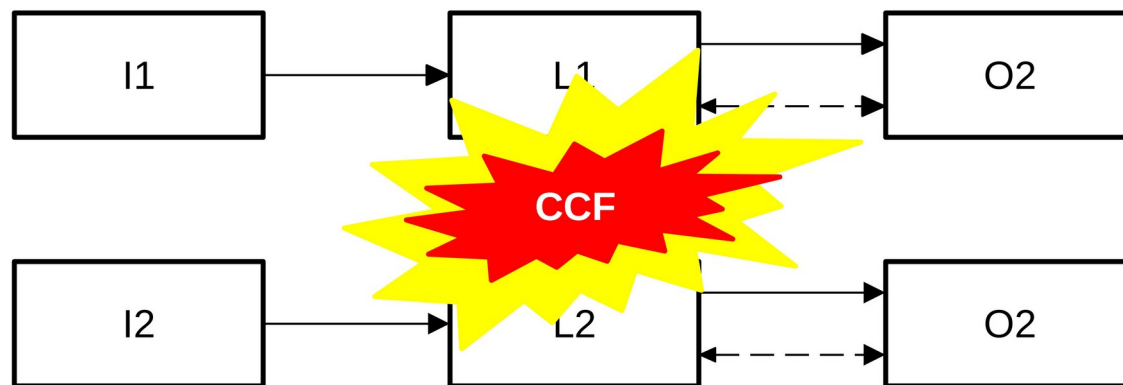
Zapobieganie awariom spowodowanym wspólną przyczyną (CCF)

Awarie spowodowane wspólną przyczyną (CCF), mogą spowodować awarię funkcji bezpieczeństwa pomimo zastosowania redundancji. Awary mogą być spowodowane czynnikami wpływającymi na oba redundantne kanały, np. wysoka temperatura, zakłócenia elektromagnetyczne i zwarcia w układach sterowania.

Ocenę zapobiegania CCF dokonuje się na podstawie normy PN-ISO 13849-1 i/lub PN-EN 61508.

Norma PN-EN ISO 13849-1 zawiera listę kontrolną, wg której która dla poszczególnych metod zapobiegania CCF, przyznaje się punkty. Najmniejszą akceptowalną ilością punktów jest 65.

$$CCF \geq 65$$



Uszkodzenia spowodowane wspólną przyczyną (CCF) mogą wyeliminować oba kanały, powodując utratę funkcji bezpieczeństwa

Bezpieczeństwo układów sterowania

Redundancja i różnicowanie

Zgodnie z normą PN-EN 60204-1:2010, w obwodach sterowniczych należy stosować redundancję i różnicowanie w celu zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia.

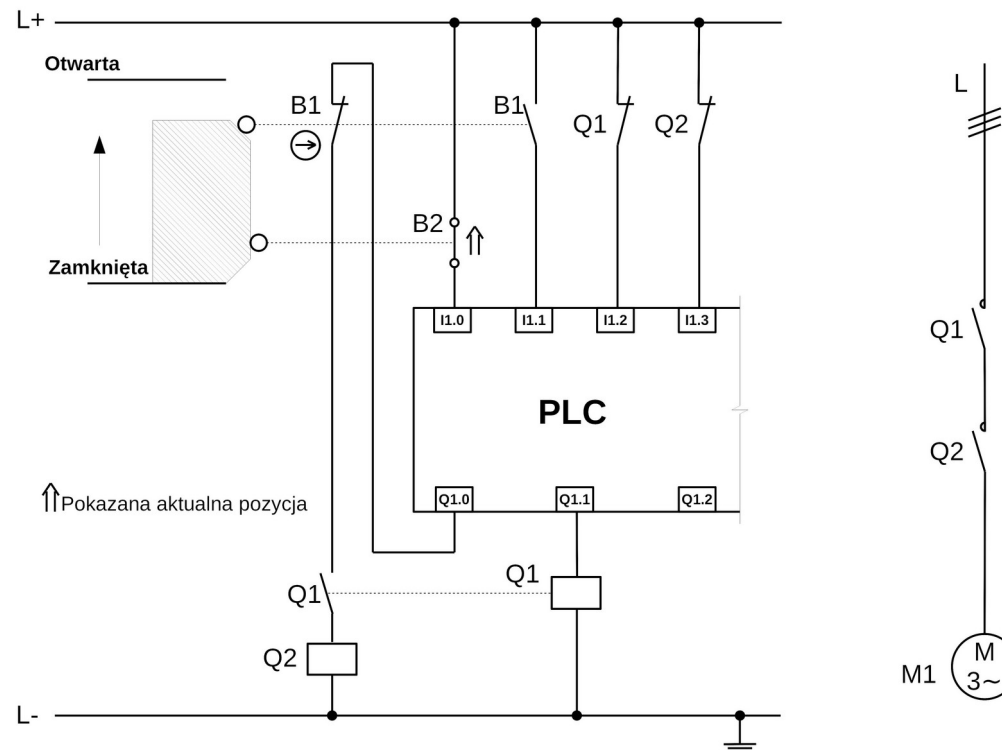
Redundancja polega na zastosowaniu więcej niż jednego urządzenia lub układu, lub części urządzenia lub układu. Stosowanie redundancji zmniejsza ryzyko spowodowania zagrożenia w przypadku pojedynczego uszkodzenia obwodu elektrycznego.

Zróżnicowanie polega na zastosowaniu układów sterowania o różnych zasadach działania lub zastosowanie różnych typów urządzeń w celu zmniejszenia ryzyka spowodowania zagrożenia związanego z uszkodzeniami. Przykładami zastosowania zróżnicowania jest kombinacja zestyków zwiernych i rozwiernych, kombinacja urządzeń elektromechanicznych i elektronicznych

Bezpieczeństwo układów sterowania

Redundancja i zróżnicowanie

Zróżnicowanie – kombinacja urządzeń elektromechanicznych (łączniki krańcowe osłony ruchomej B1 i B2) i elektronicznych (sterownik PLC).



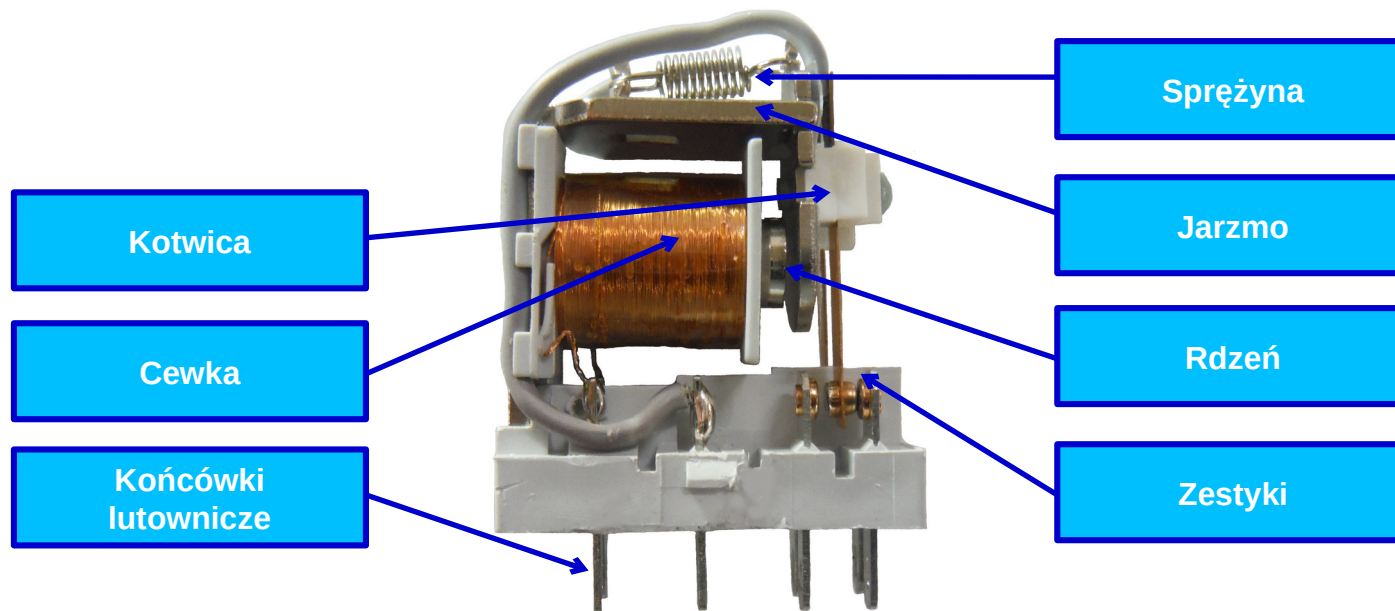
Zastosowanie zróżnicowania jako środka zmniejszania ryzyka związanego z uszkodzeniami w obwodzie sterowania. Zróżnicowanie polega na kombinacji urządzeń o różnej zasadzie działania, w tym przypadku to łącznik krańcowy i sterownik PLC.

Łączniki samoczynne (przełączniki i styczniki)

Przełączniki i styczniki elektromagnetyczne (mechanizmowe)

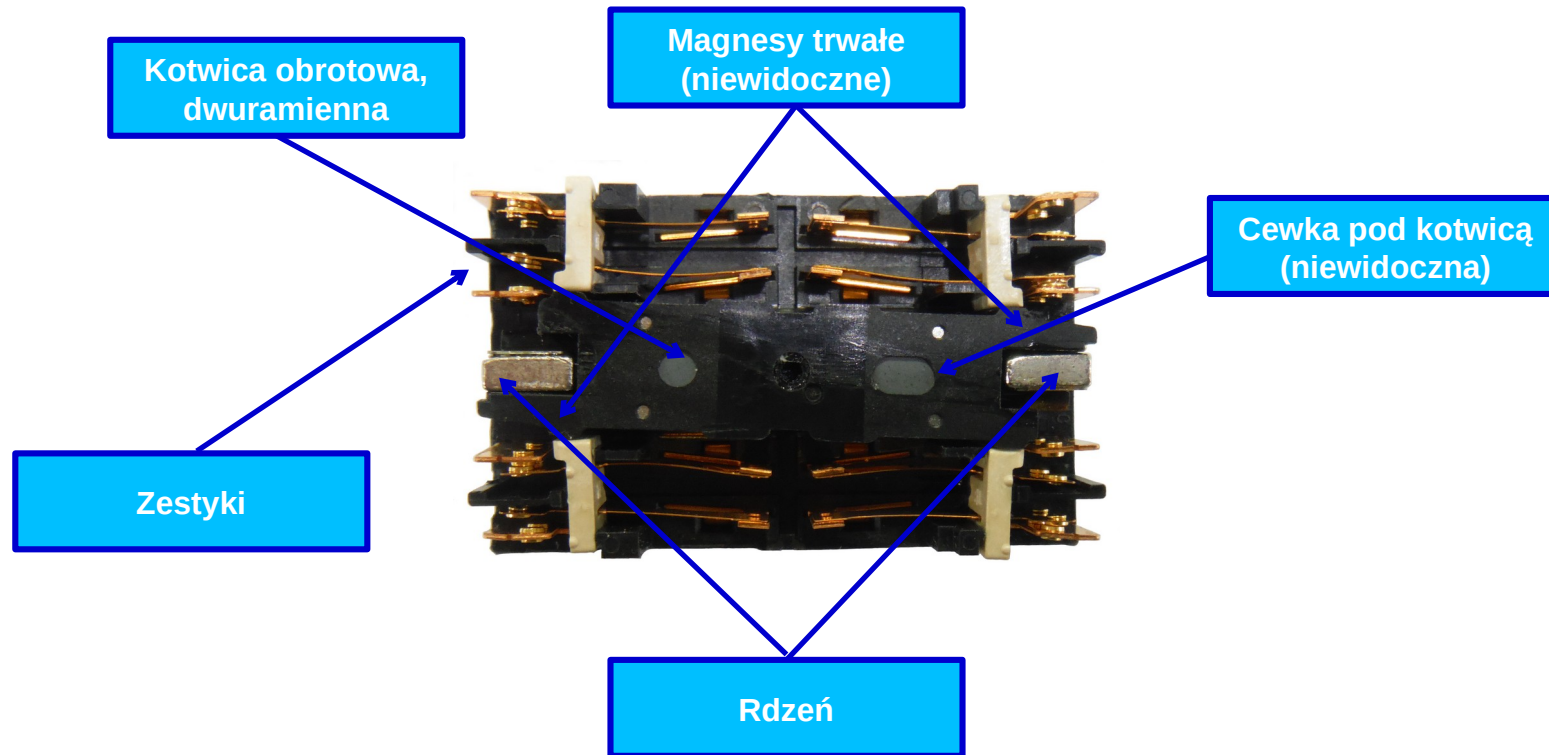
Przełącznik elektromagnetyczny – łącznik samoczynny, przeznaczony do wytworzenia nagłych i z góry określonych zmian w jednym lub większej liczbie obwodów wyjściowych, gdy są spełnione warunki w obwodach wejściowych sterujących urządzenie. Zamierzone działanie wywołuje się oddziaływaniem pola elektromagnetycznego.

Stycznik elektromagnetyczny – łącznik samoczynny, przeznaczony do załączania, wyłączania i przewodzenia prądu w warunkach normalnych i przy przeciążeniu, w którym zamierzone działanie wywołuje się oddziaływaniem pola elektromagnetycznego. Styczniki posiadają zestyki główne przeznaczone czynności łączeniowych w obwodach mocy i zestyki pomocnicze przeznaczone czynności łączeniowych w obwodach sterowniczych.



Łączniki samoczynne (przełączniki i styczniki)

Przełączniki i styczniki elektromagnetyczne (mechanizmowe)



Przełącznik SF4D f-my PANSONIC o niestandardowej budowie, wyposażony w obrotową, dwuramienną kotwicę. Pod kotwicą znajduje się cewka, wewnątrz ramion kotwicy znajdują się magnesy trwałe zastępujące sprężynę powodujące powrót kotwicy w stanie odwzbudzenia. Przełącznik jest wyposażony w 4 zestyki NC i 4 zestyki NO.

Łączniki samoczynne (przełączniki i styczniki)

Przełączniki i styczniki elektromagnetyczne (mechanizmowe)

Stan wzbudzenia – stan łącznika samoczynnego, w którym zwora (kotwica) wraz z układem styków ruchomych zostaje przyciągnięta do rdzenia elektromagnesu, w wyniku podania napięcia na cewkę. Zwora (kotwica) zostaje przyciągnięta do rdzenia, jeżeli siła wytworzona przez elektromagnes jest większa niż siła sprężyny.

Stan odwzbudzenia – stan łącznika samoczynnego, w którym zwora (kotwica) wraz z układem styków ruchomych zostaje odciągnięta do rdzenia elektromagnesu w wyniku odłączenia napięcia od cewki. Zwora (kotwica) zostaje odciągnięta do rdzenia w wyniku oddziaływania sprężyny.

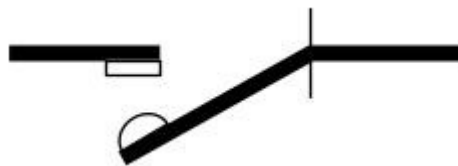
Zestyki

Rodzaje zestyków

Zestyk zwierny – to zespół styków, który w stanie odwzbudzenia przekaźnika jest otwarty, a w stanie wzbudzenia zamyka się łącząc stycki styków. Zestyki zwiernie są również nazywane zestykami NO (normalnie otwarty lub ang. normally open).

Zestyk rozwierny – to zespół styków, który w stanie odwzbudzenia przekaźnika jest zamknięty, a w stanie wzbudzenia otwiera się rozłączając stycki styków. Zestyki rozwiernie są również nazywane zestykami NZ (normalnie zamknięty) lub zestykami NC (ang. normally closed).

Zestyk przełączny – to zespół styków, w którym w stanie odwzbudzenia przekaźnika jest zestyk otwarty z rozłączonymi styckami i zestyk zamknięty z połączonymi styckami. W stanie wzbudzenia przekaźnika zestyki zmieniają stan na przeciwny, otwarte zamykają się a zamknięte otwierają się.

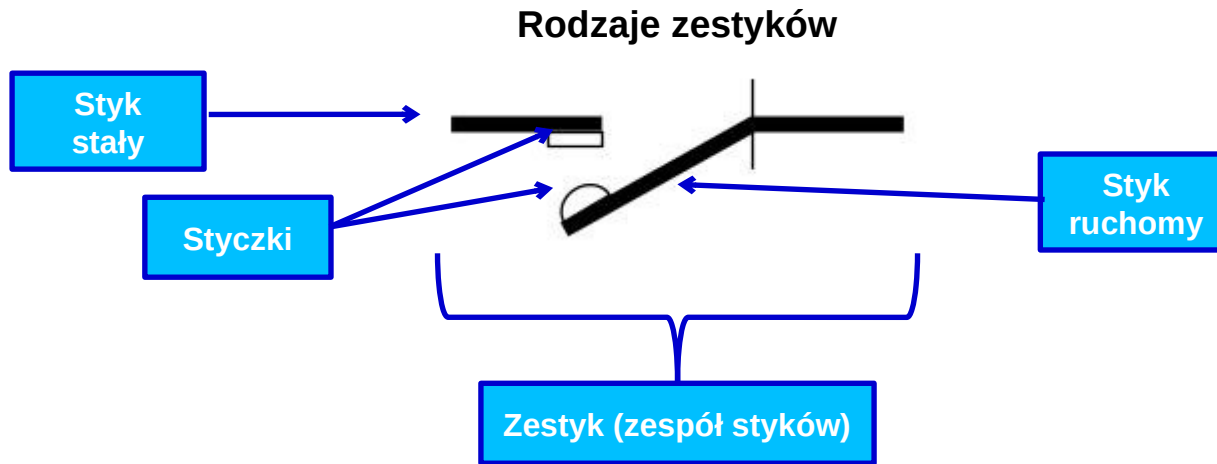


Zestyk jednoprzerwowy



Zestyk dwuprzerwowy

Zestyki



Podstawowe rodzaje zestyków

Budowa	Nazwa	Symbol
	Zestyk zwierny, zestyk „a” (ang. <i>make contact, a-contact</i>)	
	Zestyk rozwierny, zestyk „b” (ang. <i>break contact, b-contact</i>)	
	Zestyk przełączny (ang. <i>change-over contact</i>)	

Zestyki przekaźników elektromagnetycznych

Zestyki o wymuszonym przełączeniu

Zestyki o wymuszonym przełączeniu (mechanicznie sprzężone) mają budowę, która gwarantuje, wspólne przełączenie wszystkich zestyków.

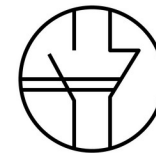
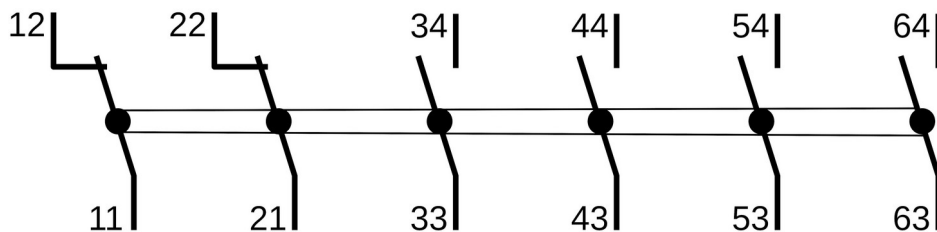
W przypadku uszkodzenia polegającego na zespawaniu styków, zestyki o przeciwnych zasadach działania – zwierne i rozwierne nie zostaną równocześnie zamknięte lub otwarte.

Zestyki typu A, to zestyki przekaźnika, w którym wszystkie zestyki są zestykami o wymuszonym przełączeniu.

Zestyki typu B, to zestyki przekaźnika, w którym nie wszystkie zestyki są zestykami o wymuszonym przełączeniu.

Przykładowo **przekaźnik bezpieczny G7S4A2B** f-my OMRON, jest przekaźnikiem typu A, wyposażonym w dwa zestyki rozwierne i cztery zestyki zwierne. Wszystkie zestyki są zestykami o wymuszonym przełączeniu.

Zespawanie zestyku w jednej parze gwarantuje utrzymanie porządanego ze względu bezpieczeństwa stanu pozostałych zestyków. Przy zespawaniu zestyku NC (11-12), zestyk NC (21-24) nie otworzy się, a zestyki NO (33-34, 43-44, 53-54 i 63-64) nie zamkną się przy wzbudzeniu przekaźnika. I odwrotnie w przypadku zespawania zestyku NO (33-34), zestyki NC (11-12 i 21-22) nie zamkną się, a zestyki NO (43-44, 53-54 i 63-64) nie otworzą się przy odwzbudzeniu przekaźnika.



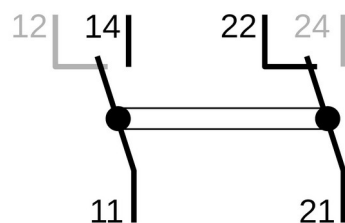
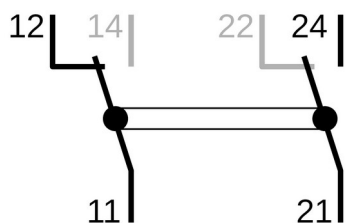
Symbol przekaźnika bezpiecznego o zestykach typu A

Zestyki przekaźnika typu A – G7SA4A2B f-my OMRON, które są zestykami o wymuszonym przełączeniu. Element łączący mechanicznie obejmuje wszystkie zestyki.

Zestyki przekaźników elektromagnetycznych

Zestyki o wymuszonym przełączeniu

Przełącznik bezpieczny 50.12.9.024.5000 f-my finder, jest przekaźnikiem typu B, wyposażonym w dwa zestawy przełączne. Jako zestawy o wymuszonym przełączeniu, może być stosowana kombinacja styków oznaczonych 12-11 i 24-21 lub 14-11 i 22-21. Przełącznik jest przekaźnikiem typu B ze względu na specyficzną budowę zestyków przełącznych.



Symbol przekaźnika bezpiecznego typu B

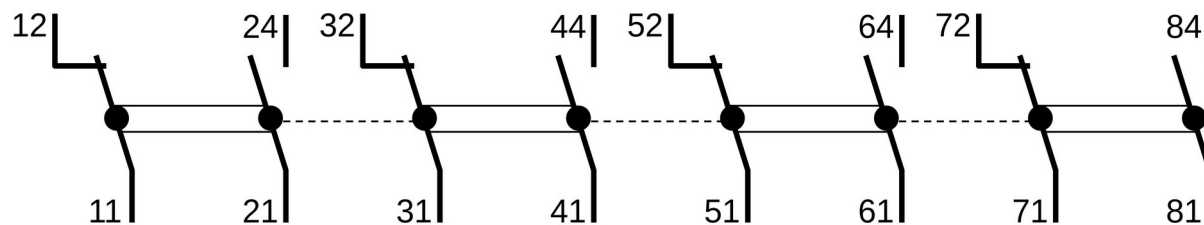
Zestyki przekaźnika typu B – 50.12.9.024.5000 f-my finder, które są zestykami o wymuszonym przełączeniu jako kombinacje zestyków oznaczona barwą czarną.

Zestyki przekaźników elektromagnetycznych

Zestyki o wymuszonym przełączeniu

Przełącznik bezpieczny SF4D f-my PANASONIC, jest przekaźnikiem typu B, wyposażonym w 4 zestyki rozwierne i 4 zestyki zwierne. Jako zestyki o wymuszonym przełączeniu, może być stosowana para zestyków 1NC + 1NO; 2NC + 2NO; 3NC + 3NO i 4NC + 4NO.

Przełącznik jest przekaźnikiem typu B ze względu na 4 niezależne elementy mechanicznie łączące pary zestyków. Zespawanie zestyku w jednej parze nie gwarantuje utrzymania porządanego ze względu na bezpieczeństwo stanu zestyków w pozostałych parach. Przy zespawaniu zestyku NC (11-12), zestyk NO (21-24) nie zamknie się przy wzbudzeniu przekaźnika, ale pozostałe zestyki NO (41-44, 61-64 i 81-84) mogą być zamknięte. I odwrotnie w przypadku zespawania zestyku NO (21-24), zestyk NC (11-12) nie zamknie się przy odwzbudzeniu przekaźnika, ale pozostałe zestyki NC (31-32, 51-52 i 71-72) mogą się zamknąć.



Symbol przekaźnika bezpiecznego typu B

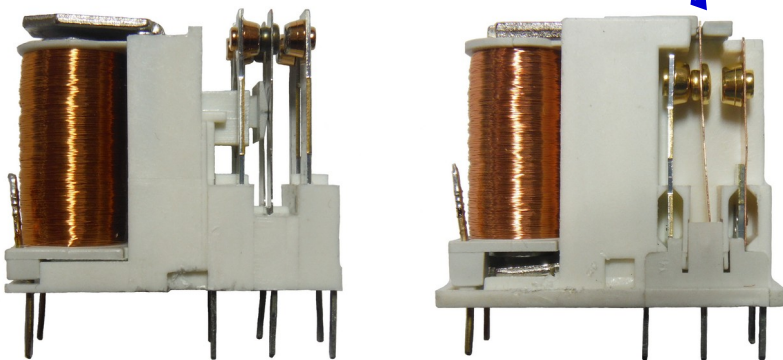
Zestyki przekaźnika typu B – SF4D f-my PANASONIC,
są zestykami o wymuszonym przełączeniu.

Zestyki przekaźników elektromagnetycznych

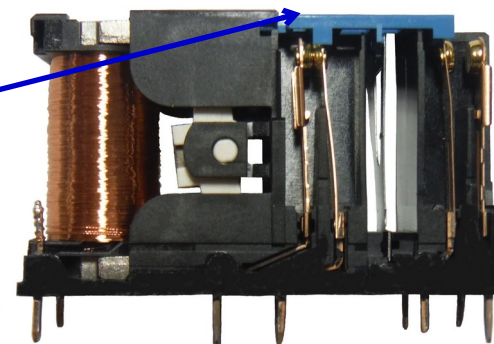
Zestyki o wymuszonym przełączeniu

Element sprzęgający mechanicznie zestyki i wymuszający równoczesne przełączenie.

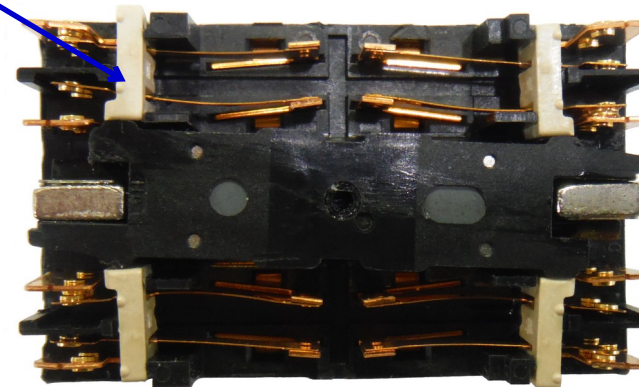
Przełącznik o zestykach mechanicznie sprzężonych, jest przełącznikiem typu A.



Przełącznik o zestykach standardowych (po lewej) i przełącznik bezpieczny o zestykach mechanicznie sprzężonych, jest przełącznikiem typu B (po prawej).



Przełącznik o zestykach mechanicznie sprzężonych parami (niezależnymi), jest przełącznikiem typu B.



Zestyki styczników elektromagnetycznych

Zestyki lustrzane i zestyki o wymuszonym przełączeniu

Zestyk lustrzany – to zestyk pomocniczy, rozwierny stycznika, który ma budowę gwarantującą, że nie będzie zamknięty równocześnie z zestykami głównymi (zwiernymi).

Zestyki o wymuszonym przełączeniu – to zespół zestyków pomocniczych stycznika zwiernych i rozwiernych, które mają budowę gwarantującą, że nie będą równocześnie zamknięte.



Zestyki pomocnicze o wymuszonym przełączeniu



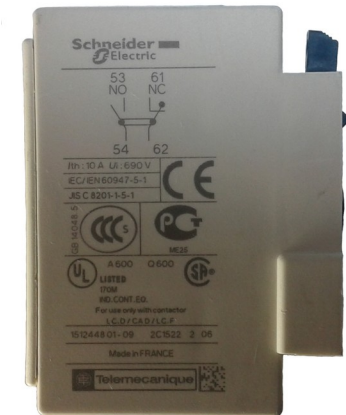
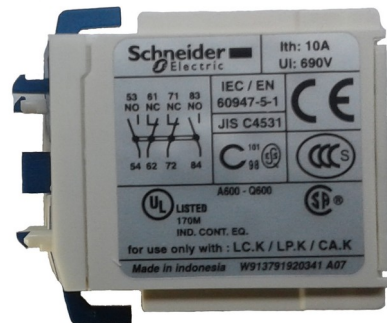
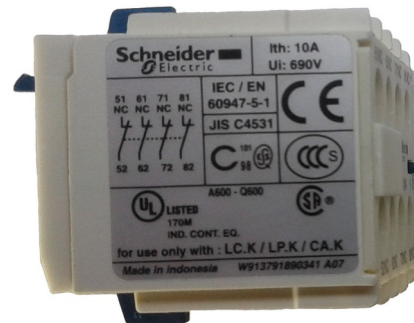
Symbol zestyków o wymuszonym przełączeniu



Symbol zestyku lustrzanego

Zestyki styczników elektromagnetycznych

Zestyki lustrzane i zestyki o wymuszonym przełączeniu



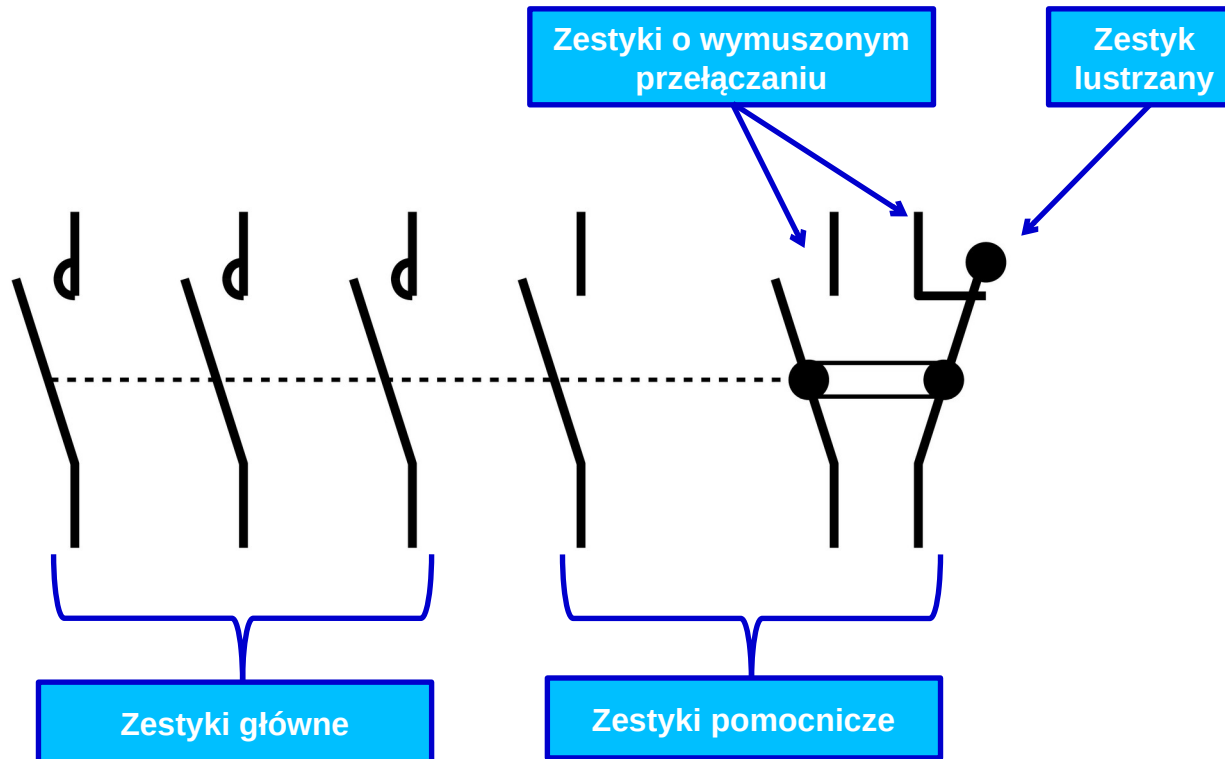
Zestyki pomocnicze o wymuszonym przełączeniu, zestyk NC jest zestykiem lustrzanym

Zestyki pomocnicze o standardowym wykonaniu po stronie lewej i zestyki o wymuszonym przełączeniu po stronie prawej. Zestyki NC, które są zestykami o wymuszonym przełączeniu są zestykami lustrzanymi.

Na symbolu nie ma oznaczenia zestyków lustrzanych, odpowiednie dane znajdują się w dokumentacji technicznej.

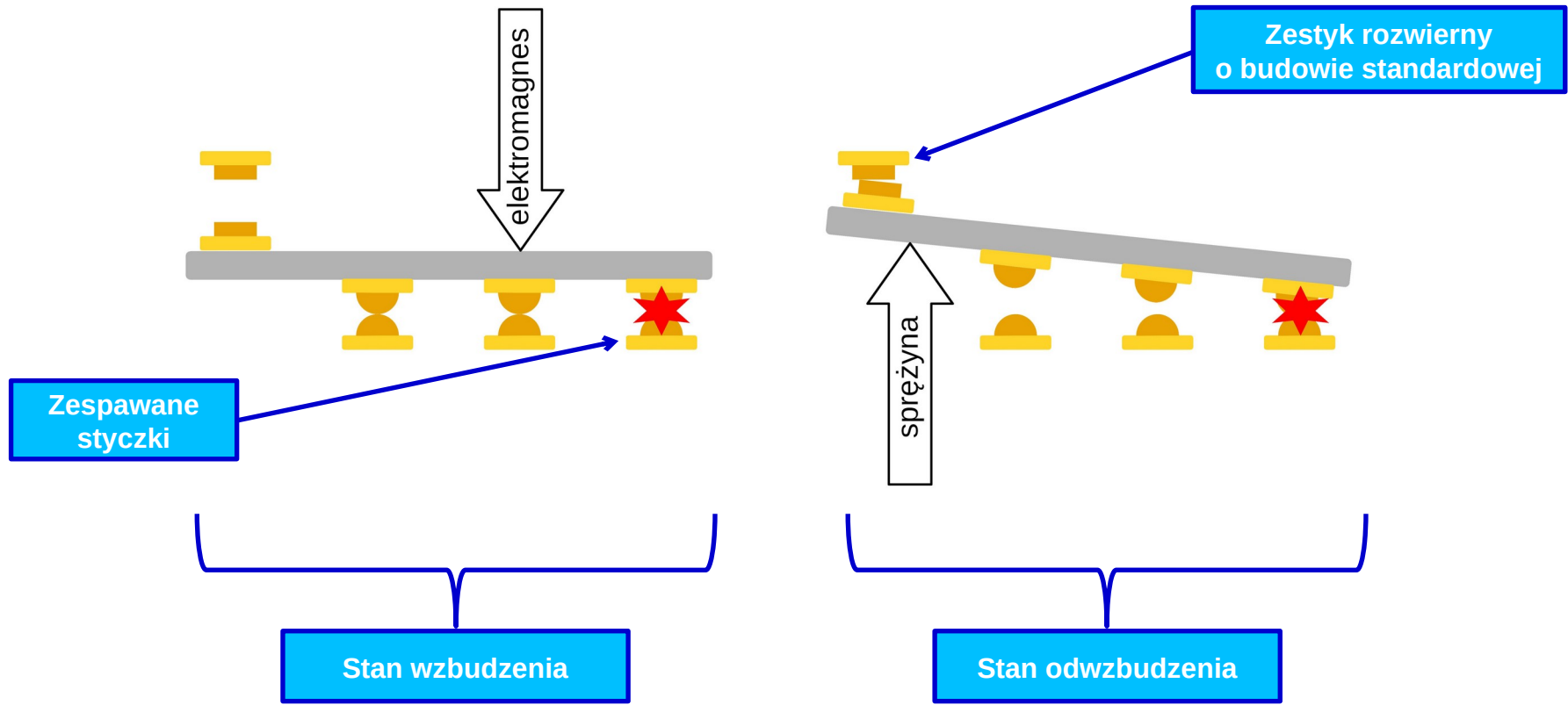
Zestyki styczników elektromagnetycznych

Zestyki lustrzane i zestyki o wymuszonym przełączeniu



Zestyki styczników elektromagnetycznych

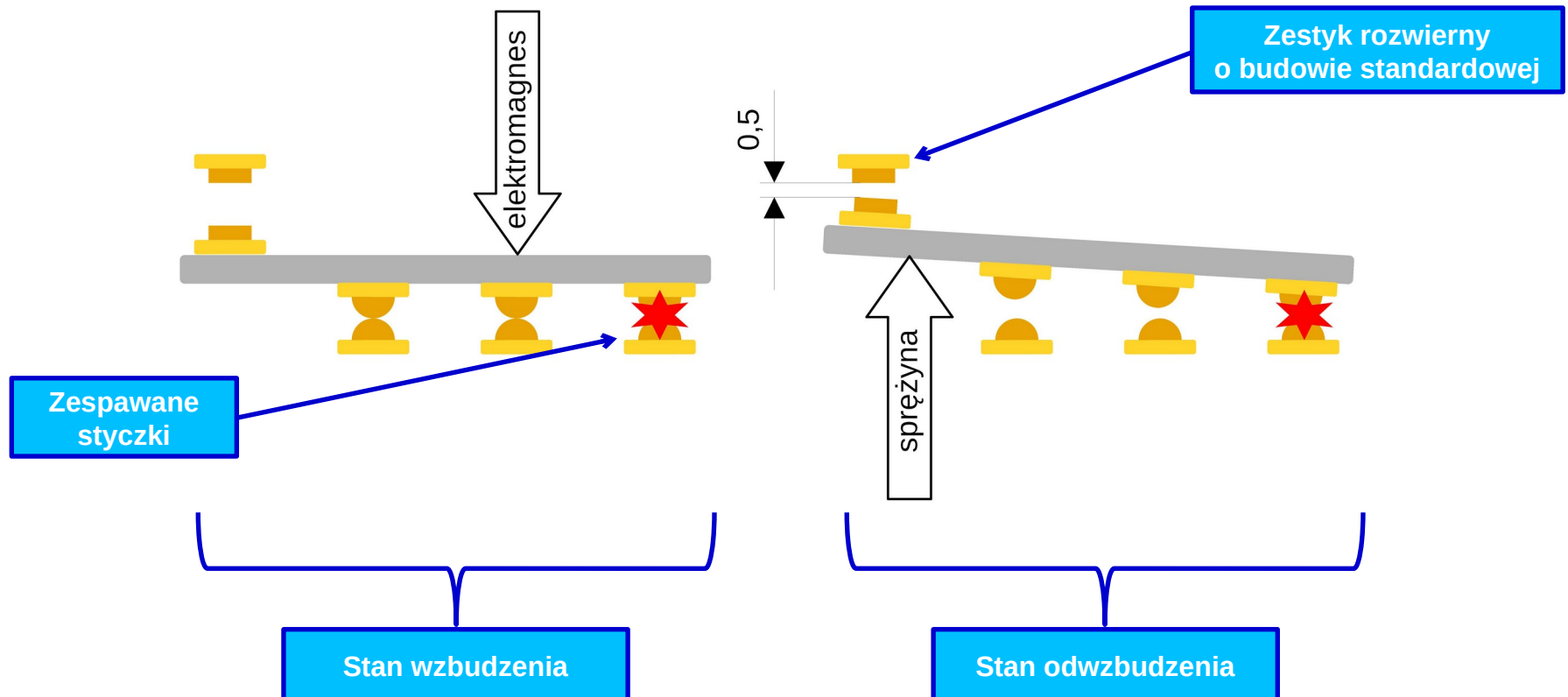
Zestyki lustrzane



Zespawanie styków głównych stycznika, może spowodować przy odwzbudzeniu, zamknięcie zestyku rozwiernego (NC) o standardowej budowie. Zestyk zwrotny (NO) i zestyk rozwierny (NC) będą równocześnie zamknięte.

Zestyki styczników elektromagnetycznych

Zestyki lustrzane



Zespawanie styczek zestyków głównych stycznika, nie spowoduje przy odwzbudzeniu, zamknięcia zestyku lustrzanego (NC). Odległość pomiędzy styczkami zestyku lustrzanego po zespawaniu zestyków głównych jest większa niż 0,5 mm w przypadku zestyków jednoprzerwowych, a w przypadku zestyków dwuprzerwowych suma odległości jest większa niż 0,5 mm.

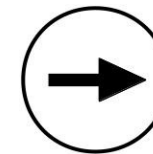
Zestyki łączników sterowniczych

Zestyki o skutecznym otwieraniu łączników przyciskowych, krańcowych i innych

W łącznikach, w których nie można kontrolować siły nacisku na elementy napędowe, takich jak łączniki z napędem ręcznym, łączniki krańcowe, łączniki drogowe i inne, nie stosuje się styków o wymuszonym przełączeniu, tak jak w łącznikach samoczynnych.

Jeżeli w stosunku do takich łączników wymaga się dużej niezawodności, np. jeżeli łącznik jest stosowany do zatrzymania awaryjnego, to stosuje się w nich **zestyki o skutecznym otwieraniu**.

Zestyki o skutecznym otwieraniu to zestyki zwierne o budowie zapewniającej, że w przypadku przemieszczenia elementu napędowego pod naciskiem przyłożonej siły, nastąpi otwarcie zestyku.



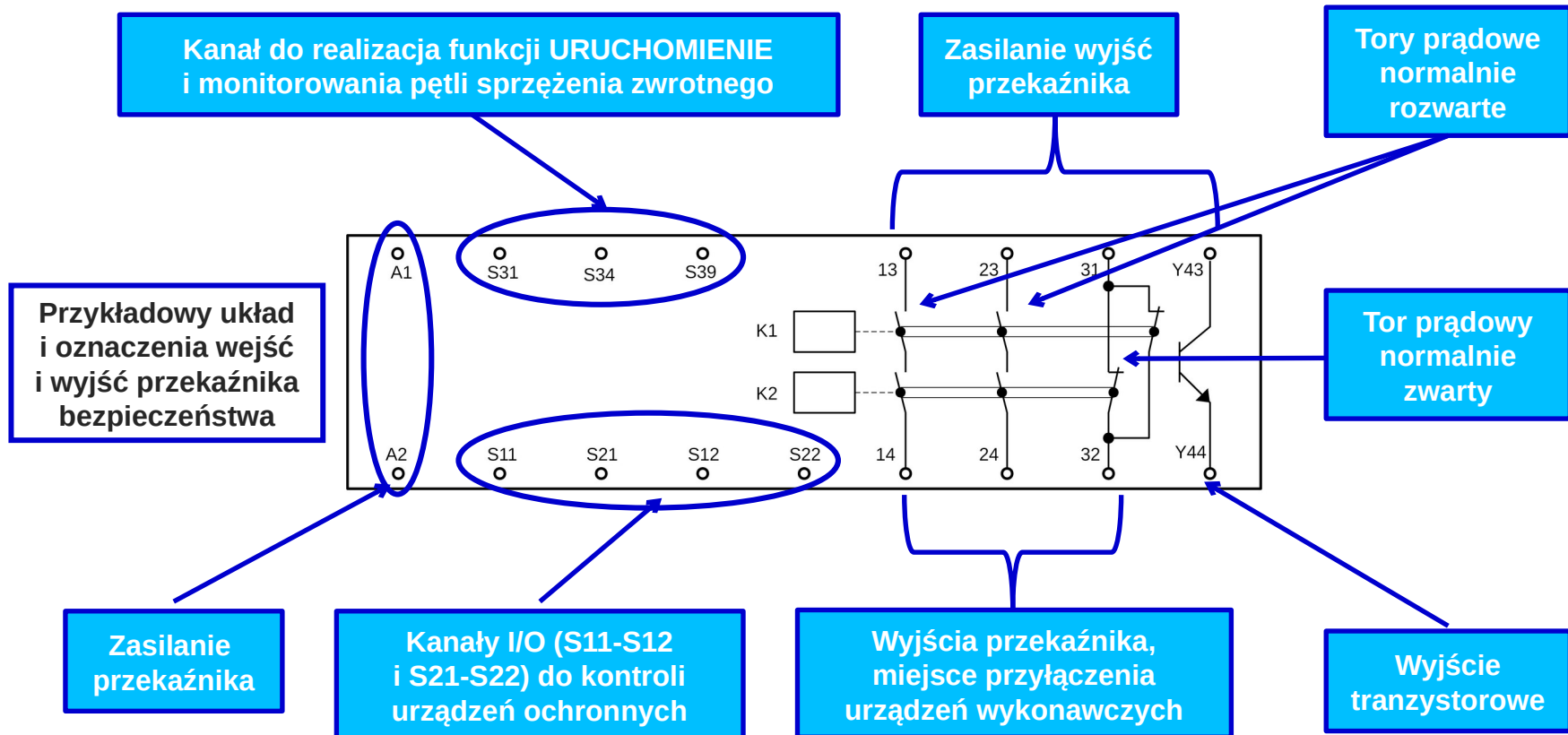
Symbol zestyku o skutecznym otwieraniu

Tabliczka znamionowa blokady bezpieczeństwa.
Zestyki rozwierne są zestykami o skutecznym otwieraniu.

Przełączniki bezpieczeństwa

Przeznaczenie przełączników bezpieczeństwa

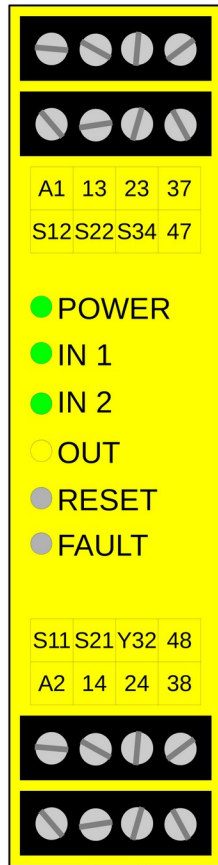
Przełączniki bezpieczeństwa służą do realizacji funkcji związanych z bezpieczeństwem maszyn. Przełączniki bezpieczeństwa mogą realizować funkcje URUCHOMIENIA, ZATRZYMANIA, ZATRZYMANIA AWARYJNEGO, sterowania oburęcznego i inne. Funkcje bezpieczeństwa łącznie z konfiguracją wejść i wyjść, mogą być zapisane w pamięci wewnętrznej przełączników programowalnych.



Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełączników bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa różni się w zależności od rodzaju, typu i producenta. W przypadku prostych przełączników Sygnalizowane może być włączenie zasilania i uruchomienie (przykład na rysunku po prawej stronie). Bardziej rozbudowane przełączniki mogą sygnalizować stany wejść, błędy, konieczność wykonania resetu i inne.



Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

Zasilanie przełącznika

Stan wejść

Stan wyjścia (wzbudzenie przełącznika)

Wymaganie resetu

Błąd

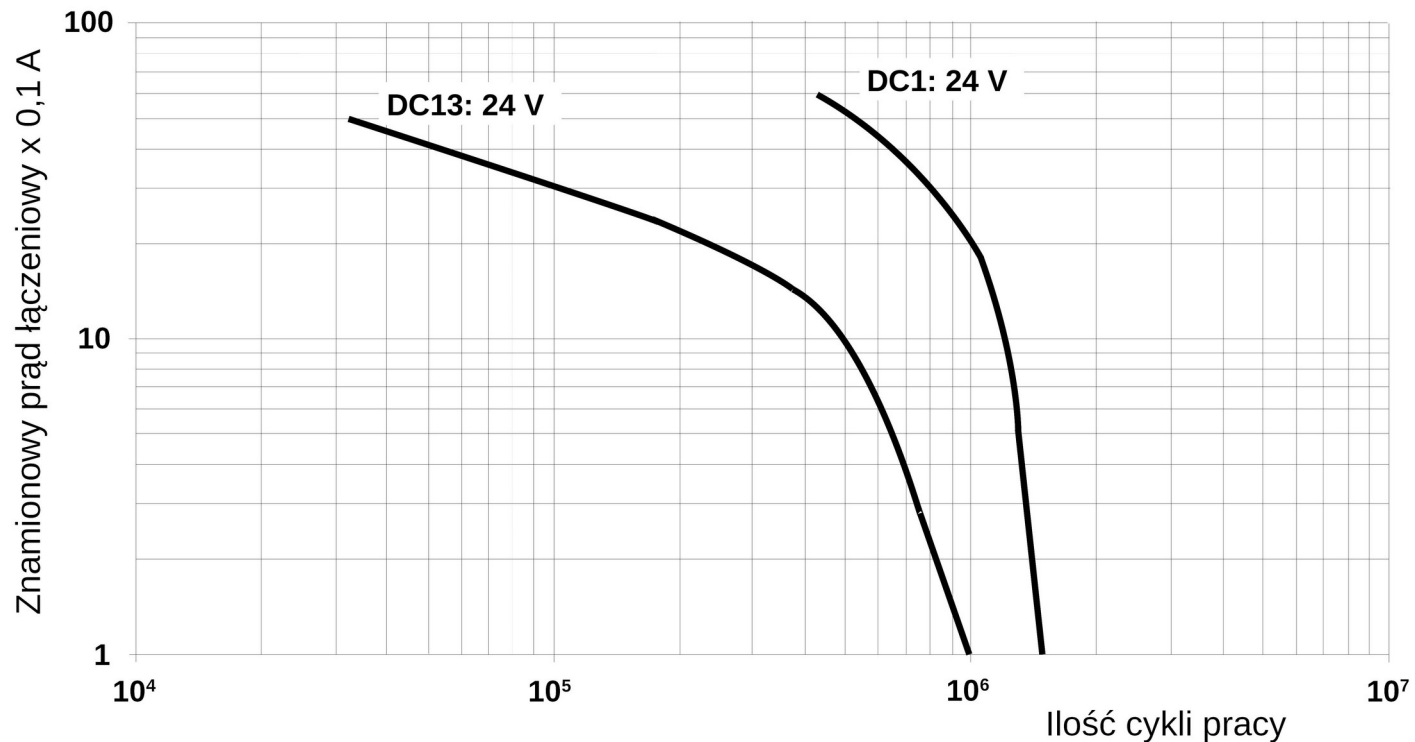


Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

Przełączniki bezpieczeństwa

Niezawodność przełączników bezpieczeństwa

Przełączniki bezpieczeństwa zawierające przełączniki elektromagnetyczne, mają ustaloną przez producenta ilość cykli, która nie może być przekroczona. Ilość cykli jest podana w dokumentacji. Ustalona przez producenta wartość poziomu niezawodności i $MTTF_D$ dotyczy użytkowania przełączników bez przekraczania dopuszczalnej ilości cykli.



Wykres przedstawiający maksymalną ilość cykli przełącznika XPS-AF f-my Schneider Electric, przy napięciu 24 V DC, dla obciążenia indukcyjnego (DC13) i rezystancyjnego (DC1)

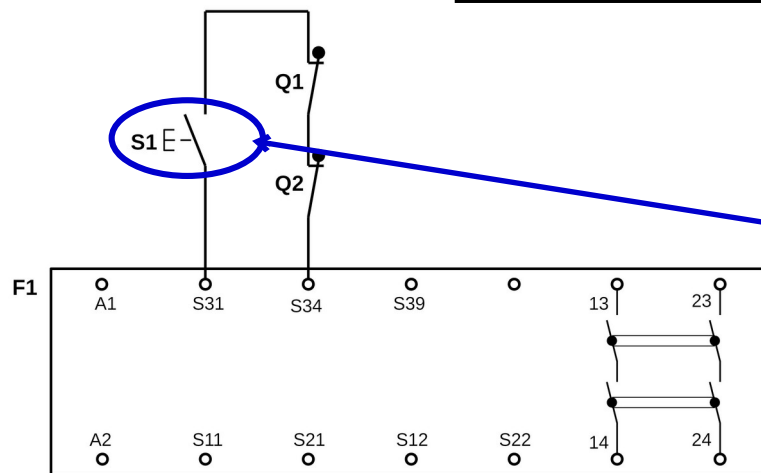
Przełączniki bezpieczeństwa

Funkcja URUCHOMIENIE (WŁĄCZENIE)

Kanał S31-S34, jest kanałem z monitoringiem łącznika S1. URUCHOMIENIE następuje po zamknięciu i otwarciu łącznika (naciśnięcie i zwolnienie przycisku) – sterowanie impulsem („zamierzone włączenie”). Minimalizuje to ryzyko przypadkowego uruchomienia w przypadku uszkodzenia łącznika lub zwarcia przewodów.

URUCHOMIENIE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 22. 1. Uruchomienie maszyny powinno być możliwe tylko przez zamierzone włączenie urządzenia sterującego przewidzianego do tego celu.



Łącznik S1 realizuje funkcję URUCHOMIENIE

Łącznik S1 realizujący funkcję URUCHOMIENIE jest monitorowany przez przełącznik F1

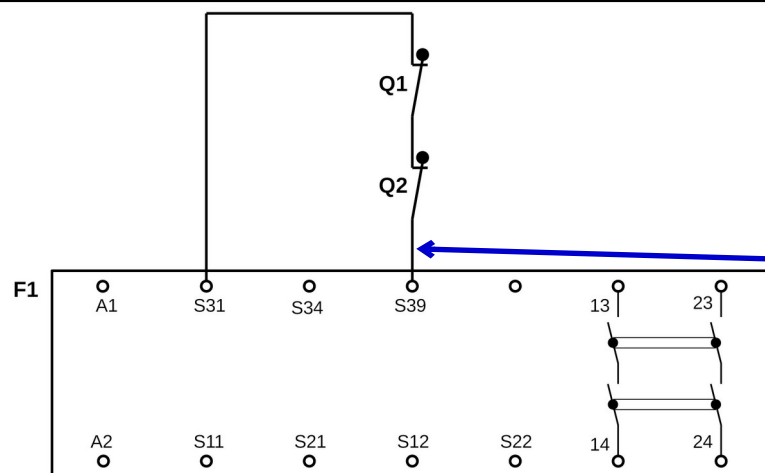
Środki ochronne i elementy środków ochronnych

Funkcja URUCHOMIENIE (WŁĄCZENIE)

Kanał S31-S39 jest kanałem bez monitoringu łącznika i może być używany do automatycznego uruchomienia po spełnieniu warunków związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa.

URUCHOMIENIE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 22. 4. W przypadku maszyny pracującej w trybie automatycznym, jej uruchomienie oraz ponowne uruchomienie po zatrzymaniu lub zmiana parametrów pracy mogą być możliwe bez interwencji operatora, pod warunkiem że nie prowadzi to do sytuacji zagrożenia.



Automatyczne uruchomienie bez monitoringu zestyku

Automatyczne URUCHOMIENIE bez monitoringu, po spełnieniu dodatkowych warunków

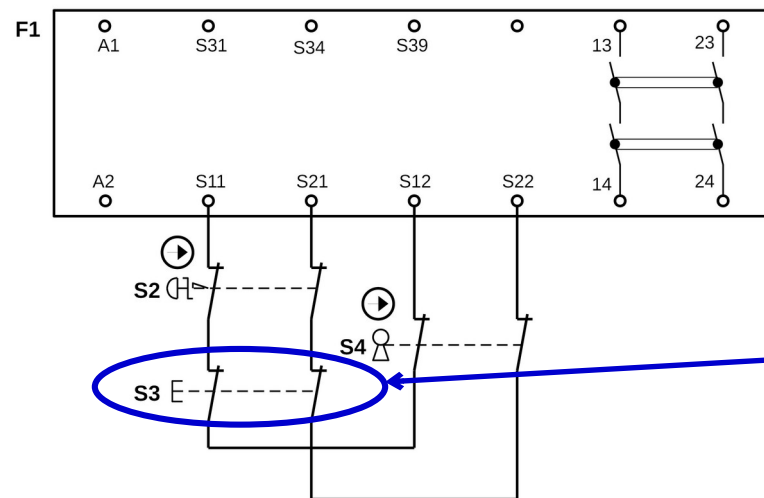
Przełączniki bezpieczeństwa

Funkcja ZATRZYMANIE (WYŁĄCZENIE)

ZATRZYMANIE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 23. 2. Każde stanowisko robocze powinno być wyposażone w urządzenie sterujące umożliwiające zatrzymanie, w zależności od istniejących zagrożeń, niektórych lub wszystkich funkcji maszyny tak, aby maszyna pozostawała bezpieczna. Sterowanie zatrzymaniem powinno mieć pierwszeństwo w stosunku do sterowania uruchamianiem.

§ 23. 3. Z chwilą zatrzymania maszyny lub jej niebezpiecznych funkcji, **zasilanie odpowiednich napędów uruchamiających powinno zostać odłączone.**



Łącznik S3 realizuje funkcję ZATRZYMANIE

Łącznik S3 realizujący funkcję ZATRZYMANIE jest włączony w układ monitorujący łączniki sterownicze (kanały S11-S12, S21-S22), możliwe są inne rozwiązania.

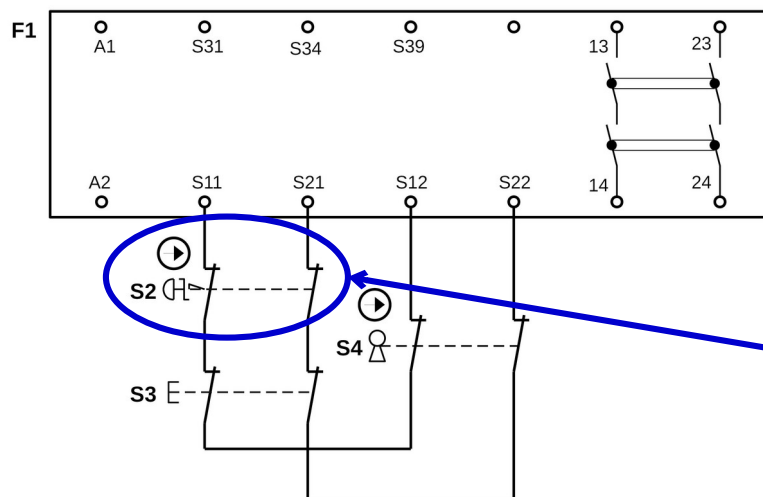
Przełączniki bezpieczeństwa

Funkcja ZATRZYMANIE AWARYJNE

ZATRZYMANIE AWARYJNE (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

§ 24. 1. Maszyna powinna być wyposażona w co najmniej jedno urządzenie do zatrzymywania awaryjnego, umożliwiające wyeliminowanie zaistniałego niebezpieczeństwa lub zapobieżenie jego wystąpieniu.

§ 24. 4. Z chwilą ustania aktywnego działania urządzenia do zatrzymania awaryjnego po wygenerowaniu sygnału zatrzymania, sygnał ten powinien być podtrzymany przez zablokowanie tego urządzenia, aż do chwili, w której zostanie ono w sposób zamierzony odblokowane.



Łącznik S2 realizuje funkcję ZATRZYMANIE AWARYJNE.

Łącznik przyciskowy jest wyposażony w zatraskową blokadę, która wymaga odblokowania po naciśnięciu przycisku.

Łącznik S2 realizujący funkcję ZATRZYMANIE AWARYJNE jest włączony w układ monitorujący łączniki sterownicze (kanały S11-S12, S21-S22).

Przełączniki bezpieczeństwa

Izolacja podstawowa

Układy sterowania (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)

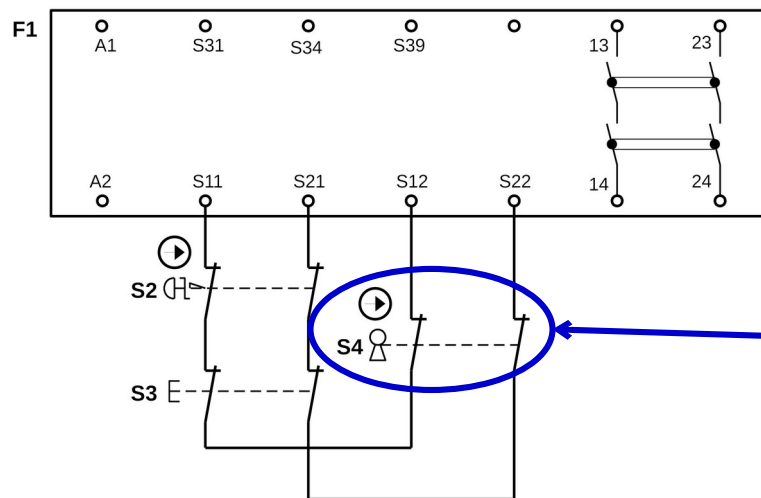
§ 18.2. 2. Należy zwrócić szczególną uwagę na to, aby:

...

5) automatyczne lub ręczne zatrzymywanie części ruchomych nie mogło zostać zakłócone;

6) urządzenia ochronne zapewniały skuteczną ochronę lub wysyłały polecenie zatrzymania;

7) elementy układu sterowania związane z bezpieczeństwem działały w sposób spójny w całym zespole maszyn...



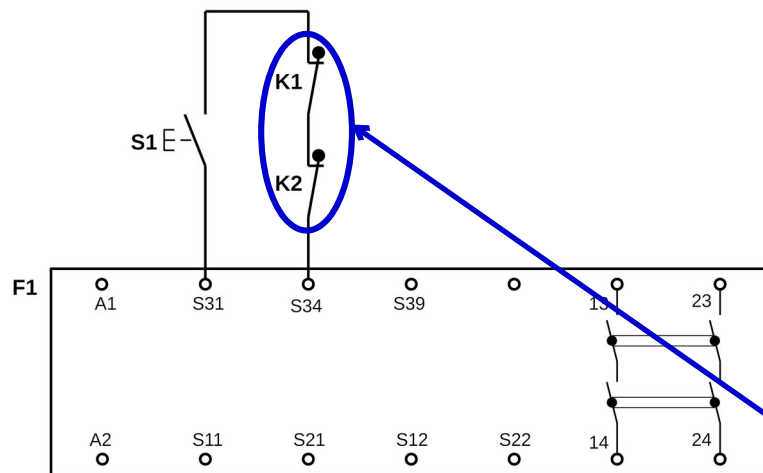
Łącznik S4 kontroluje zamknięcie osłony ruchomej

Łącznik S4 kontrolujący zamknięcie osłony ruchomej jest włączony w układ monitorujący łączniki sterownicze (kanały S11-S12, S21-S22).

Przełączniki bezpieczeństwa

Monitorowanie pętli sprzężenia zwrotnego

Pętla **sprzężenia zwrotnego** służy do monitorowania zestyków głównych i/lub pomocniczych łączników samoczynnych. Pętla zwrotna może być włączona szeregowo z łącznikiem funkcji URUCHOMIENIE (WŁĄCZENIE). W przypadku zespawania zestyków NO w obwodach zasilających urządzenia stwarzające zagrożenie, zestyk NC w pętli sprzężenia zwrotnego pozostanie otwarty i uniemożliwi URUCHOMIENIE (przerwa galwaniczna w kanale przełącznika S31-S34 lub S31-S39). Zestyki w pętli sprzężenia zwrotnego powinny być zestykami lustrzanymi i/lub zestykami o wymuszonym przełączaniu. Pętla sprzężenia zwrotnego może być monitorowana odrębnym kanałem z sygnalizacją uszkodzeń, lub może być włączona szeregowo z łącznikiem URUCHOMIENIE(S1).



Układy sterowania (Dz.U. 2002 nr 191 poz. 1596)
§ 11. Układy sterowania maszyn powinny zapewniać bezpieczeństwo i być dobierane z uwzględnieniem możliwych uszkodzeń, defektów oraz ograniczeń, jakie można przewidzieć w planowanych warunkach użytkowania maszyny.

Zestyki lustrzane styczników K1 i K2 są połączone z łącznikiem funkcji URUCHOMIENIE (S1)

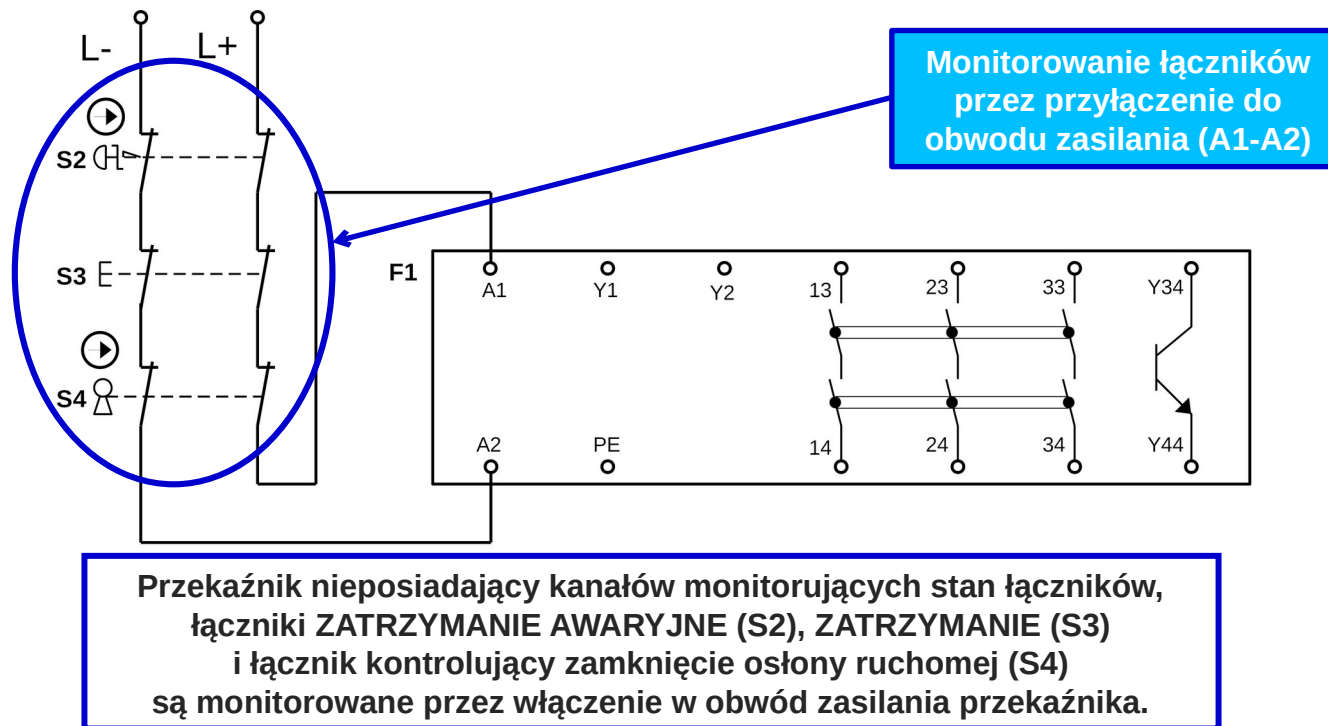
Zestyki NC łączników samoczynnych w pętli sprzężenia zwrotnego

Przełączniki bezpieczeństwa

Proste przełączniki bezpieczeństwa

W przypadku stosowania prostych przełączników bezpieczeństwa, które nie posiadają kanału do monitorowania łączników sterowniczych, stosuje się przyłączenie obu biegunów zasilania przełącznika przez zestyki NC, łączników sterowniczych podlegających monitorowaniu. W przypadku otwarcia zestyków, napięcie zasilające przełącznik bezpieczeństwa zostaje odłączone i przełącznik przechodzi w stan odwzbudzenia (realizacja funkcji ZATRZYMANIE/WYŁĄCZENIE).

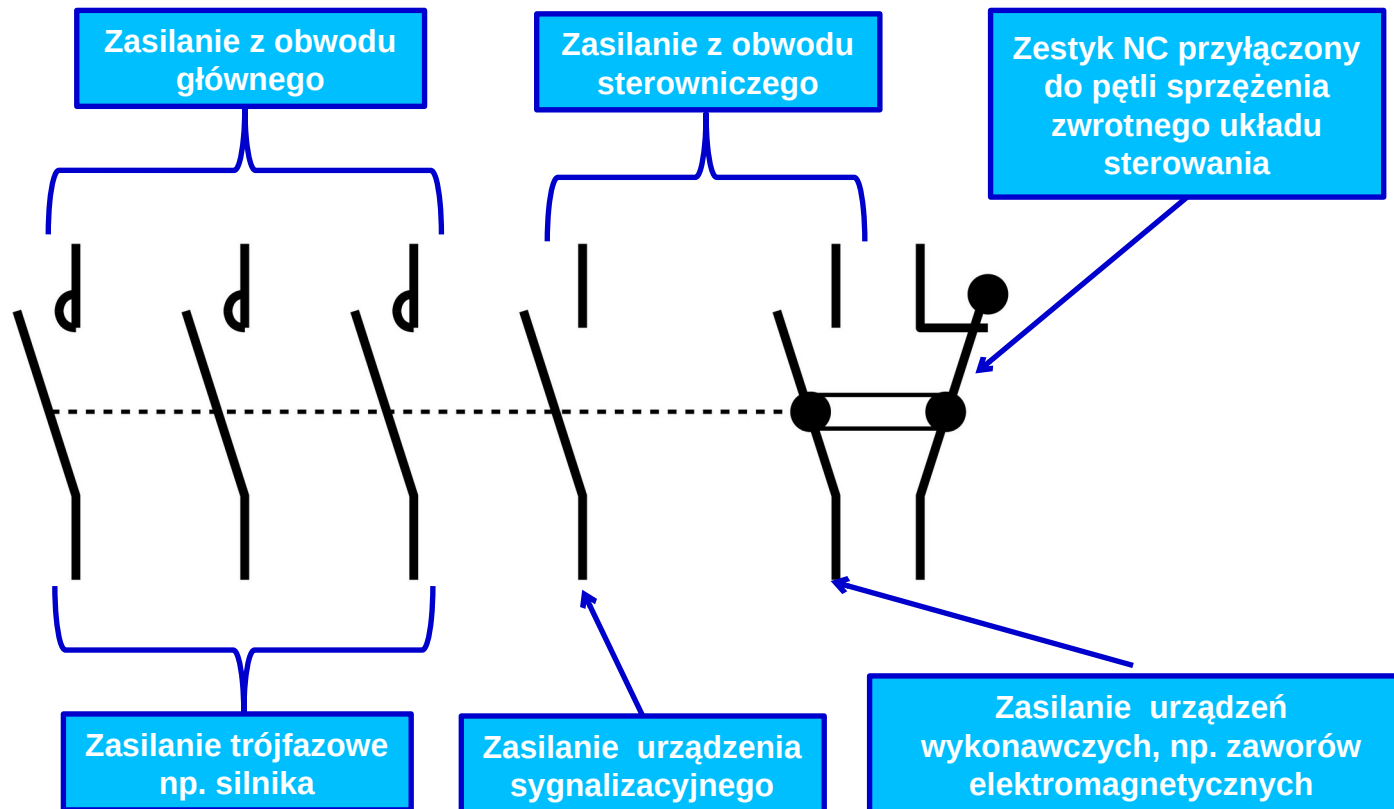
Należy zwrócić uwagę, na zagrożenie związane ze zwarciami w obwodach sterowniczych o uziemionym biegunie.



Przełączniki bezpieczeństwa

Monitorowanie pętli sprzężenia zwrotnego

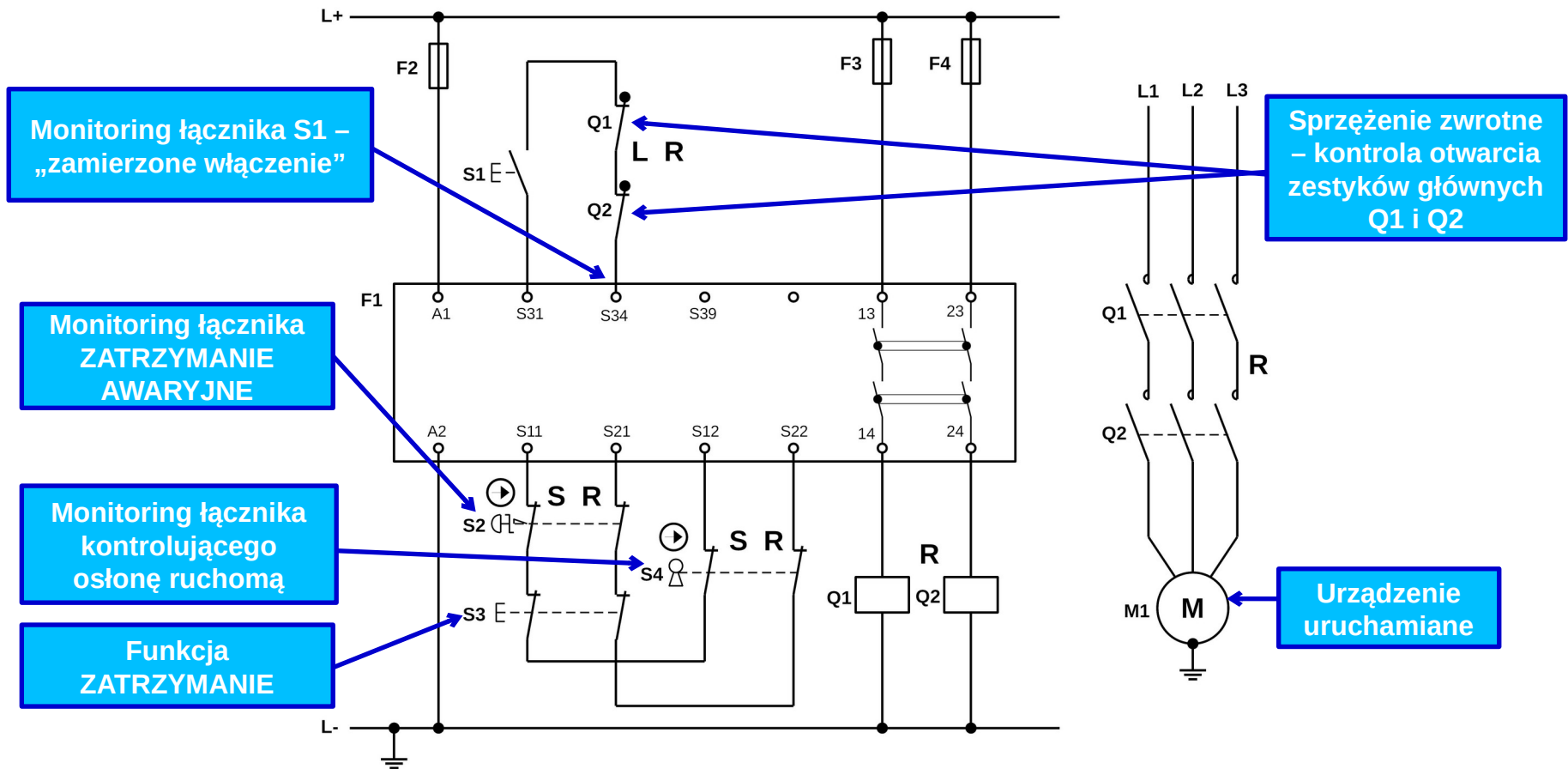
Pętla sprzężenia zwrotnego powinna monitorować wszystkie zestyki główne i pomocnicze, które załączają zasilanie elektryczne, pneumatyczne i inne, i mogą stwarzać potencjalne zagrożenie w przypadku uszkodzeń.



Zestyk NC pętli sprzężenia zwrotnego musi być zestykiem lustrzanym ze względu na zestyki główne i zestykiem o wymuszonym przełączeniu ze względu na zestyki pomocnicze.

Przełączniki bezpieczeństwa

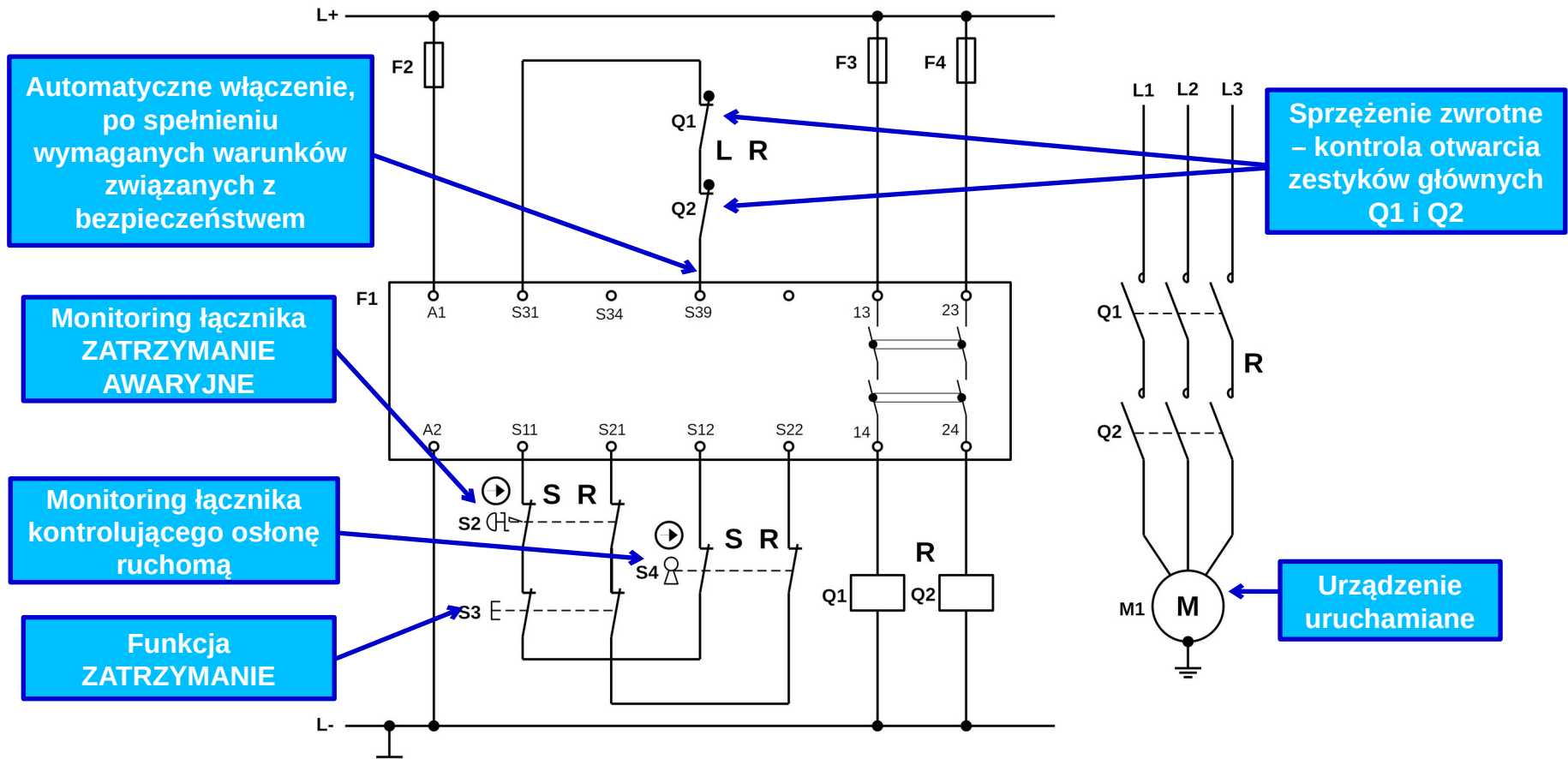
Przełączniki bezpieczeństwa realizujące funkcje URUCHOMIENIE/ZATRZYMANIE



**URUCHOMIENIE z kontrolą łącznika S1 – uruchomienie jest możliwe po zamknięciu i otwarciu łącznika.
W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia:
R – redundancja; L – zestyki lustrzane; S – zestyki o skutecznym otwieraniu.**

Przełączniki bezpieczeństwa

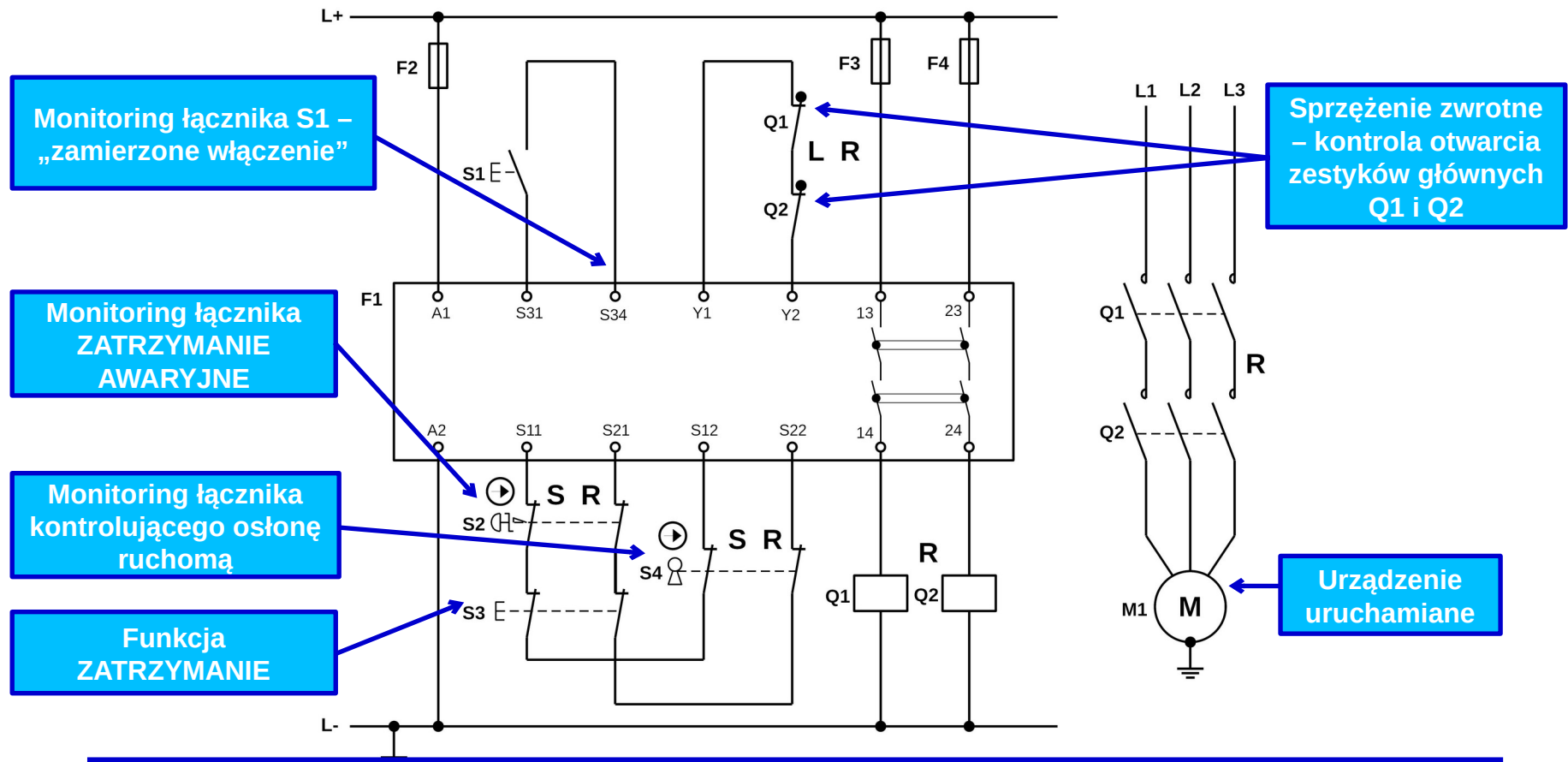
Przełączniki bezpieczeństwa realizujące funkcje URUCHOMIENIE/ZATRZYMANIE



URUCHOMIENIE automatyczne po zamknięciu łącznika S4 (blokada osłony ruchomej).
W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia:
R – redundancja; L – zestyki lustrzane; S – zestyki o skutecznym otwieraniu.

Przełączniki bezpieczeństwa

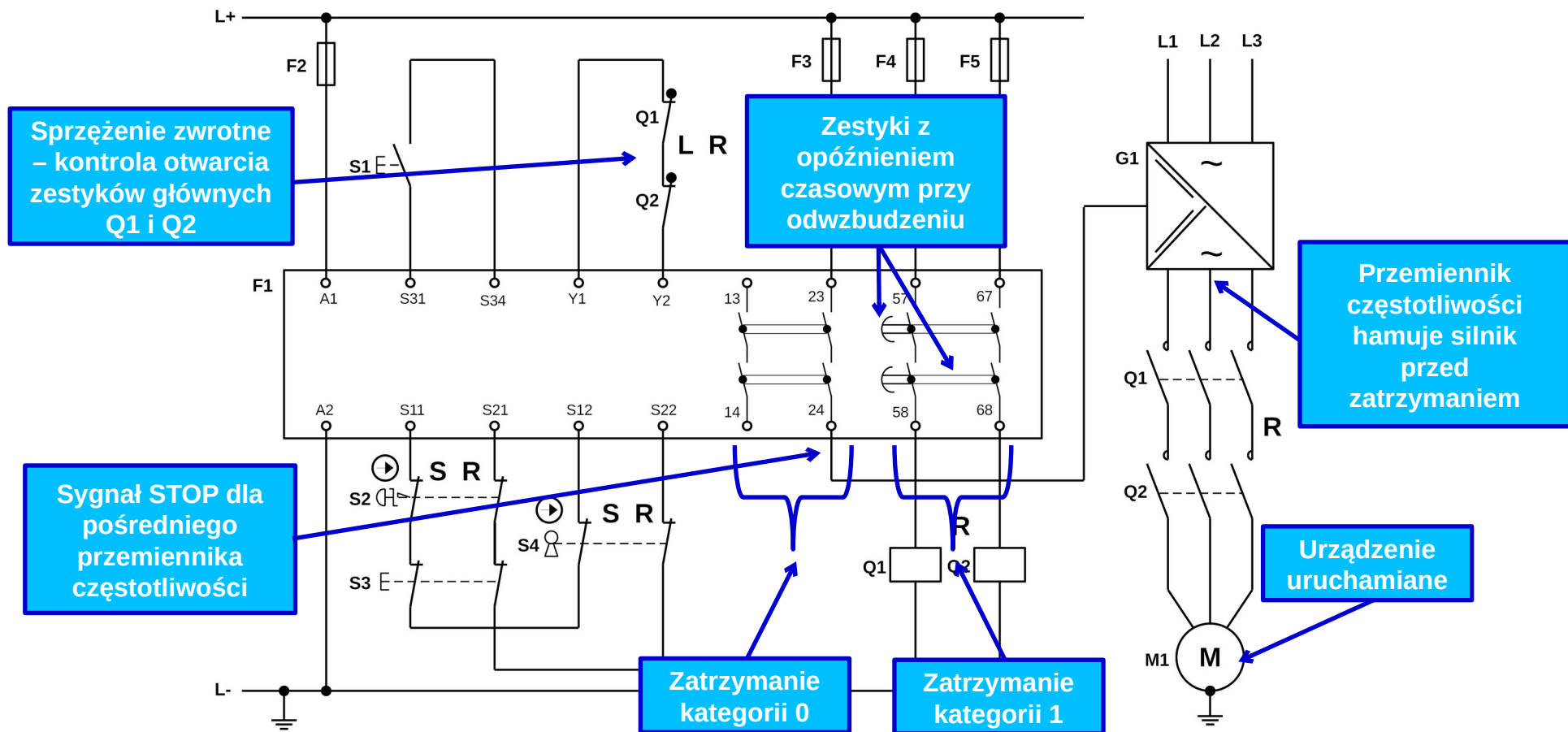
Przełączniki bezpieczeństwa realizujące funkcje URUCHOMIENIE/ZATRZYMANIE



URUCHOMIENIE z kontrolą łącznika S1 – uruchomienie jest możliwe po zamknięciu i otwarciu łącznika (naciśnięcie i zwolnienie przycisku). Pętla sprzężenia zwrotnego jest kontrolowana, uszkodzenia zestyków są sygnalizowane. W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia: R – redundancja; L – zestyki lustrzane; S – zestyki o skutecznym otwieraniu.

Przełączniki bezpieczeństwa

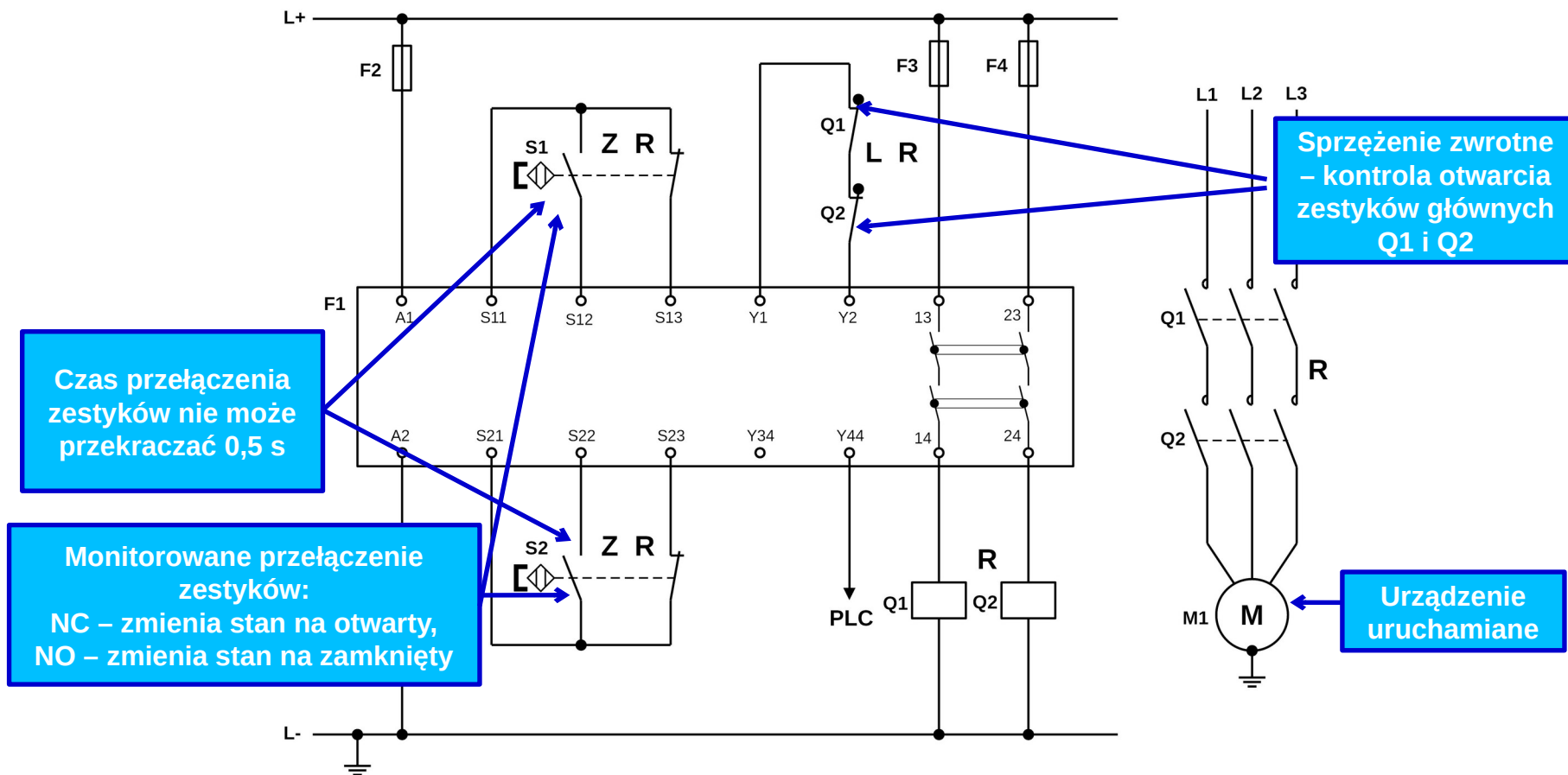
Przełączniki bezpieczeństwa realizujące funkcje URUCHOMIENIE/ZATRZYMANIE



Przełącznik bezpieczeństwa realizujący funkcję URUCHOMIENIE/ZATRZYMANIE, zatrzymanie kategorii 1 następuje po zahamowaniu silnika. W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia: R – redundancja; L – zestyki lustrzane; S – zestyki o skutecznym otwieraniu.

Przełączniki bezpieczeństwa

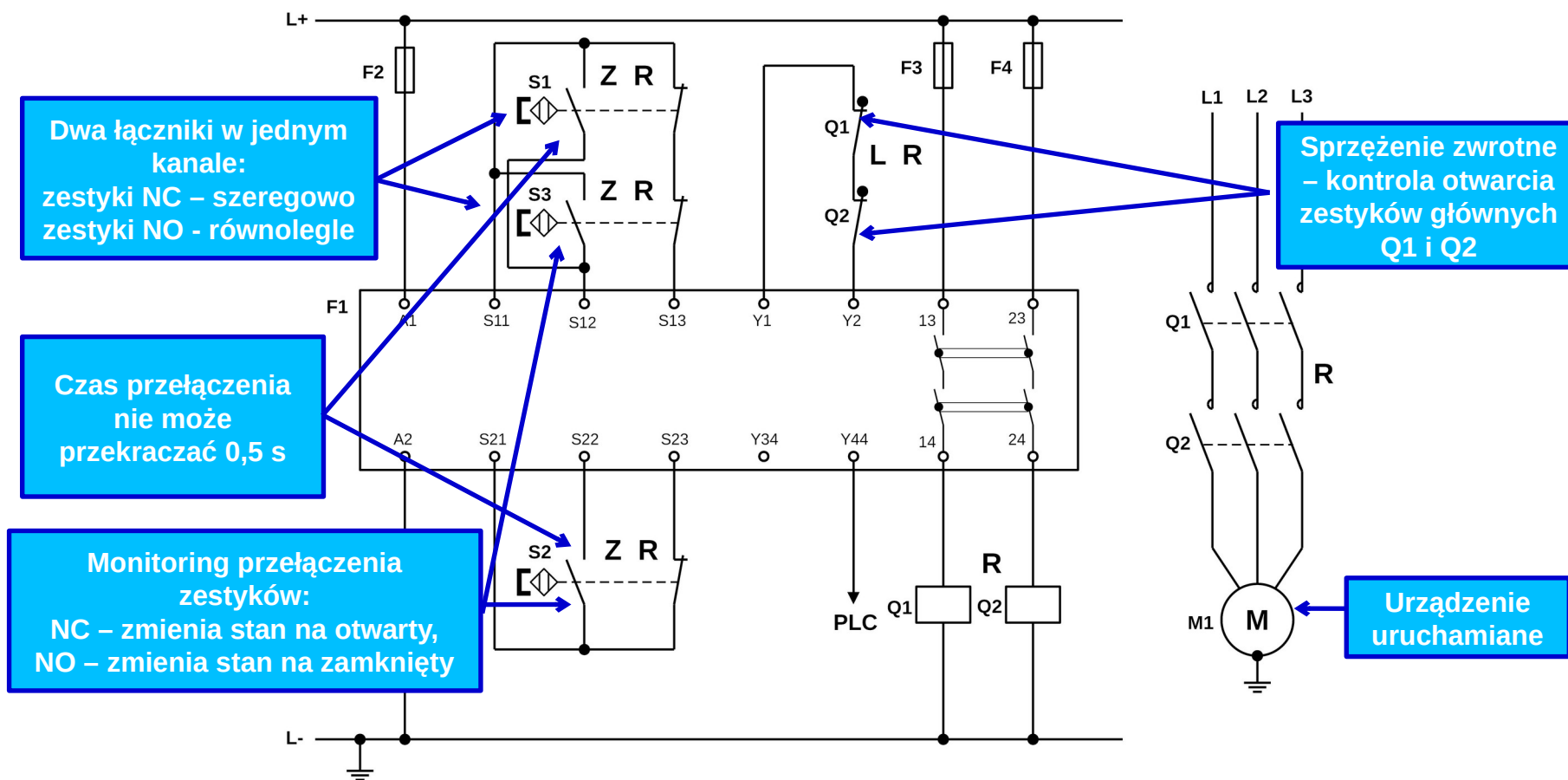
Przełączniki bezpieczeństwa monitorujące łączniki sterownicze



Przełącznik bezpieczeństwa monitorujący łączniki magnetyczne przeznaczone do kontroli zamknięcia osłon i drzwi. Dwa kanały monitorują dwa łączniki. W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia: R – redundancja; L – zestyki lustrzane.

Przełączniki bezpieczeństwa

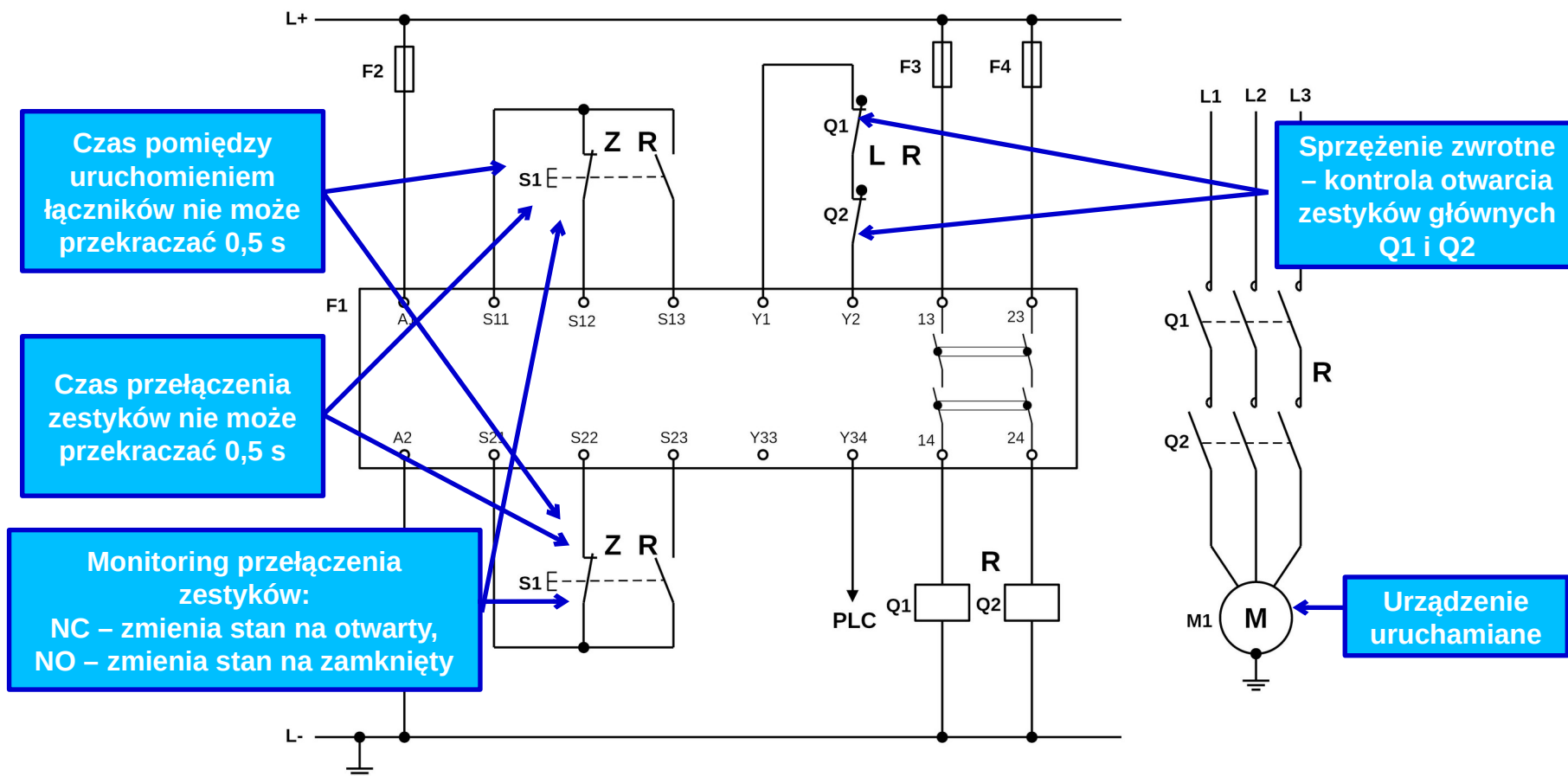
Przełączniki bezpieczeństwa monitorujące łączniki sterownicze



Przełącznik bezpieczeństwa monitorujący łączniki magnetyczne przeznaczone do kontroli zamknięcia osłon i drzwi. Dwa kanały monitorują trzy łączniki. W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia: R – redundancja; L – zestyki lustrzane.

Przełączniki bezpieczeństwa

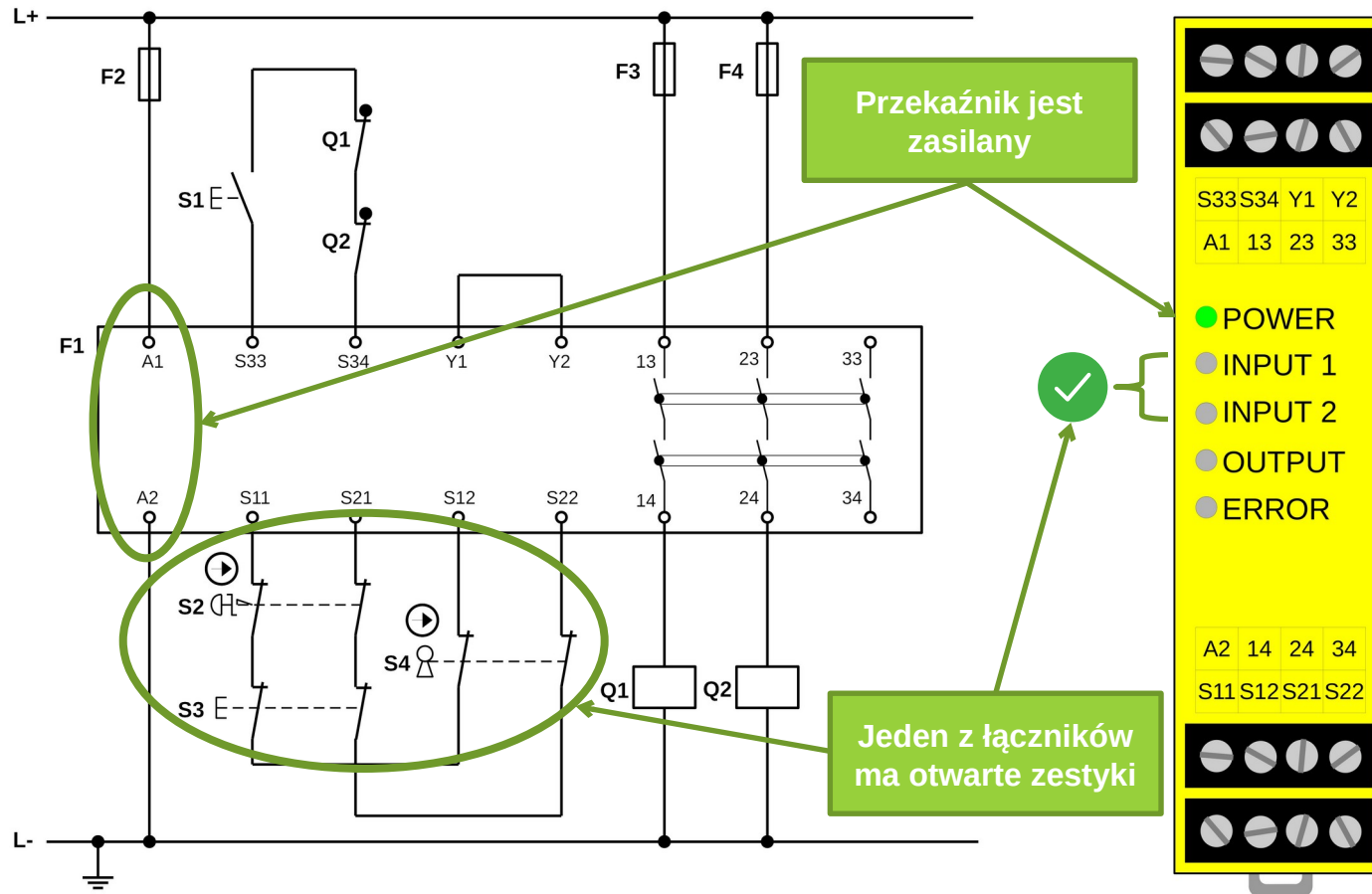
Przełączniki bezpieczeństwa realizujące funkcję STEROWANIE OBURECZNE



Przełącznik bezpieczeństwa realizujący funkcję STEROWANIE OBURECZNE.
W układzie sterowania zastosowano środki do zmniejszenia ryzyka w przypadku uszkodzenia:
R – redundancja; L – zestyki lustrzane.

Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania

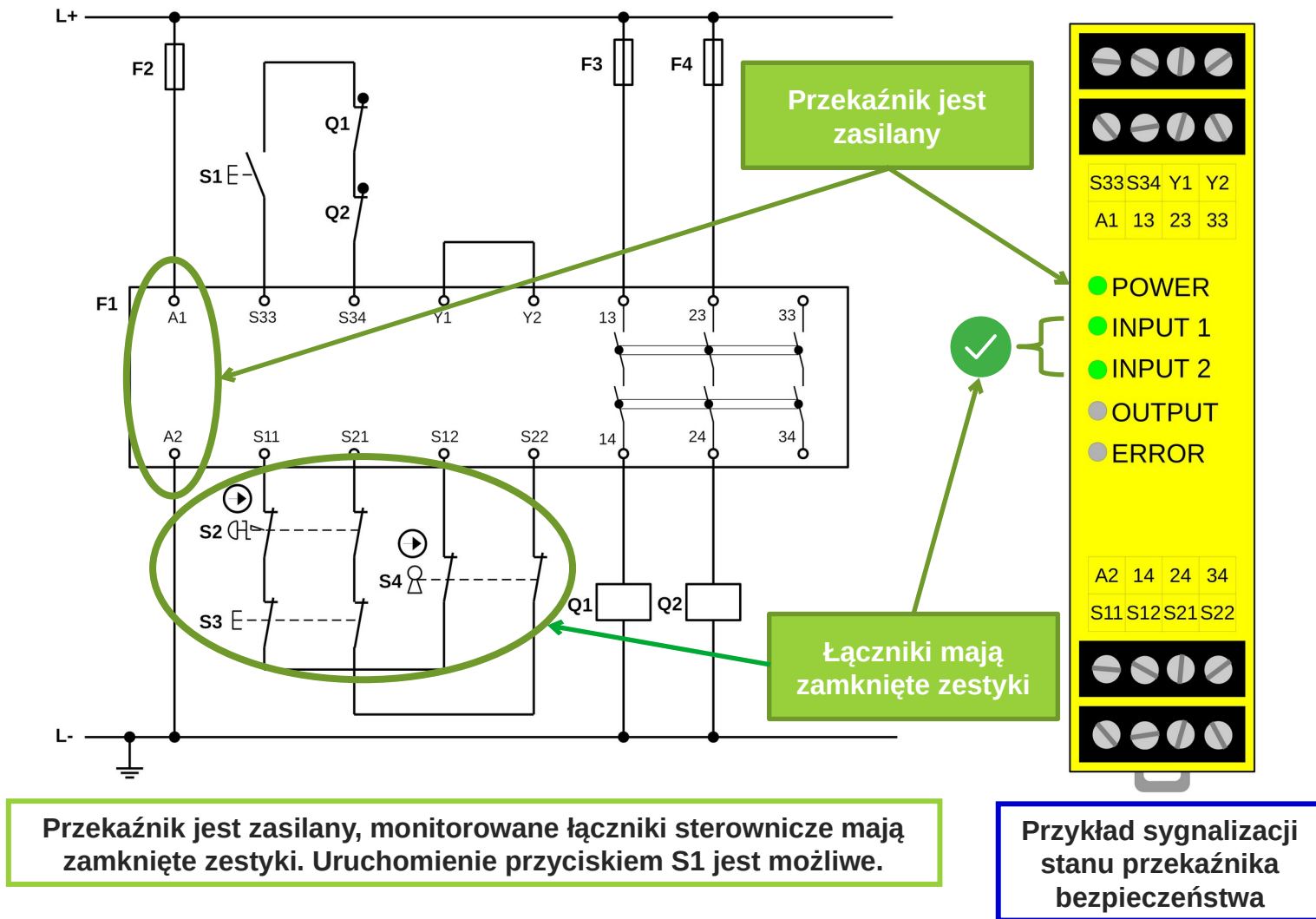


Przełącznik jest zasilany, jeden z monitorowanych łączników sterowniczych ma otwarte zestyki. Uruchomienie przyciskiem S1 jest niemożliwe.

Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

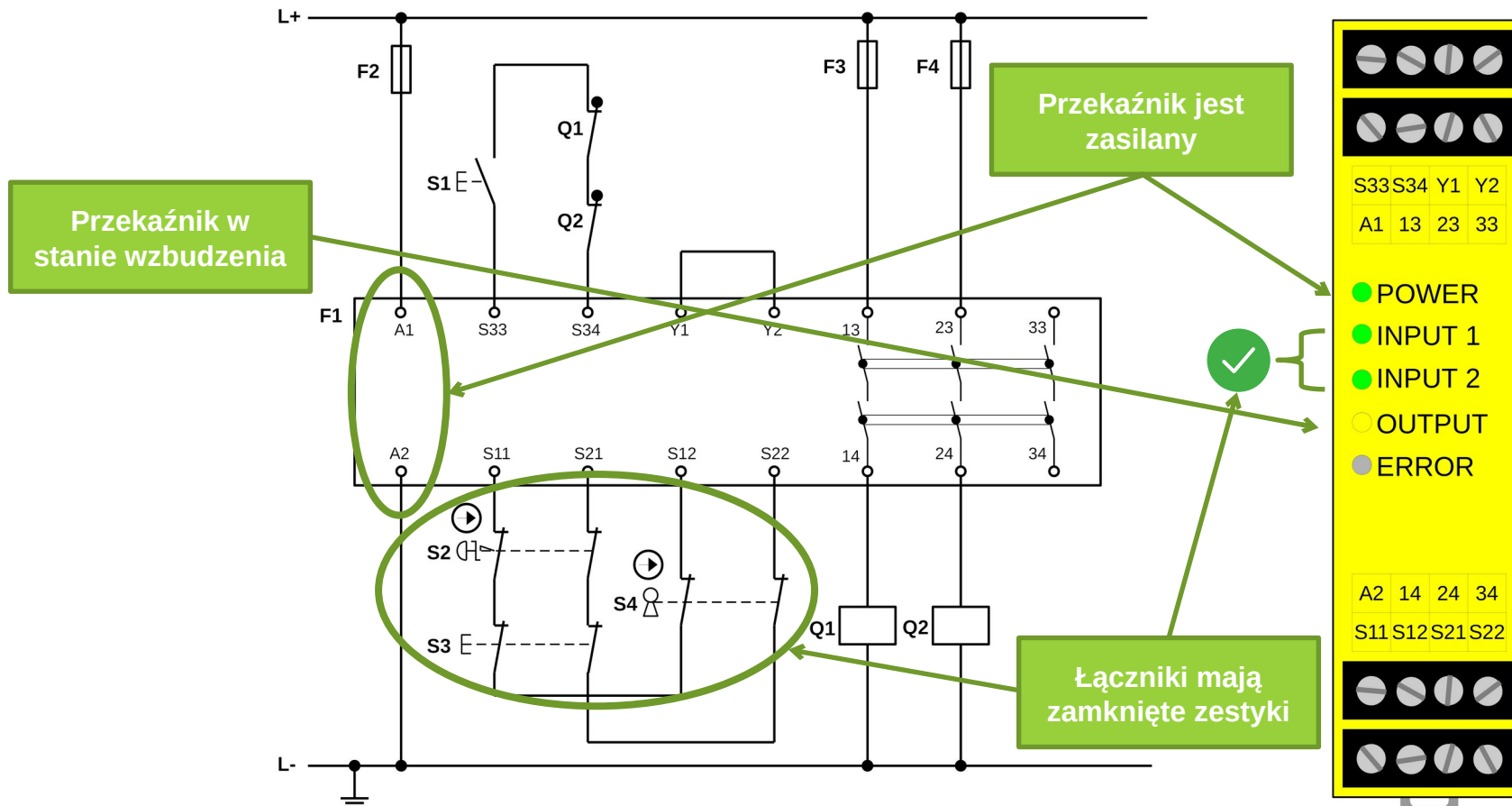
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



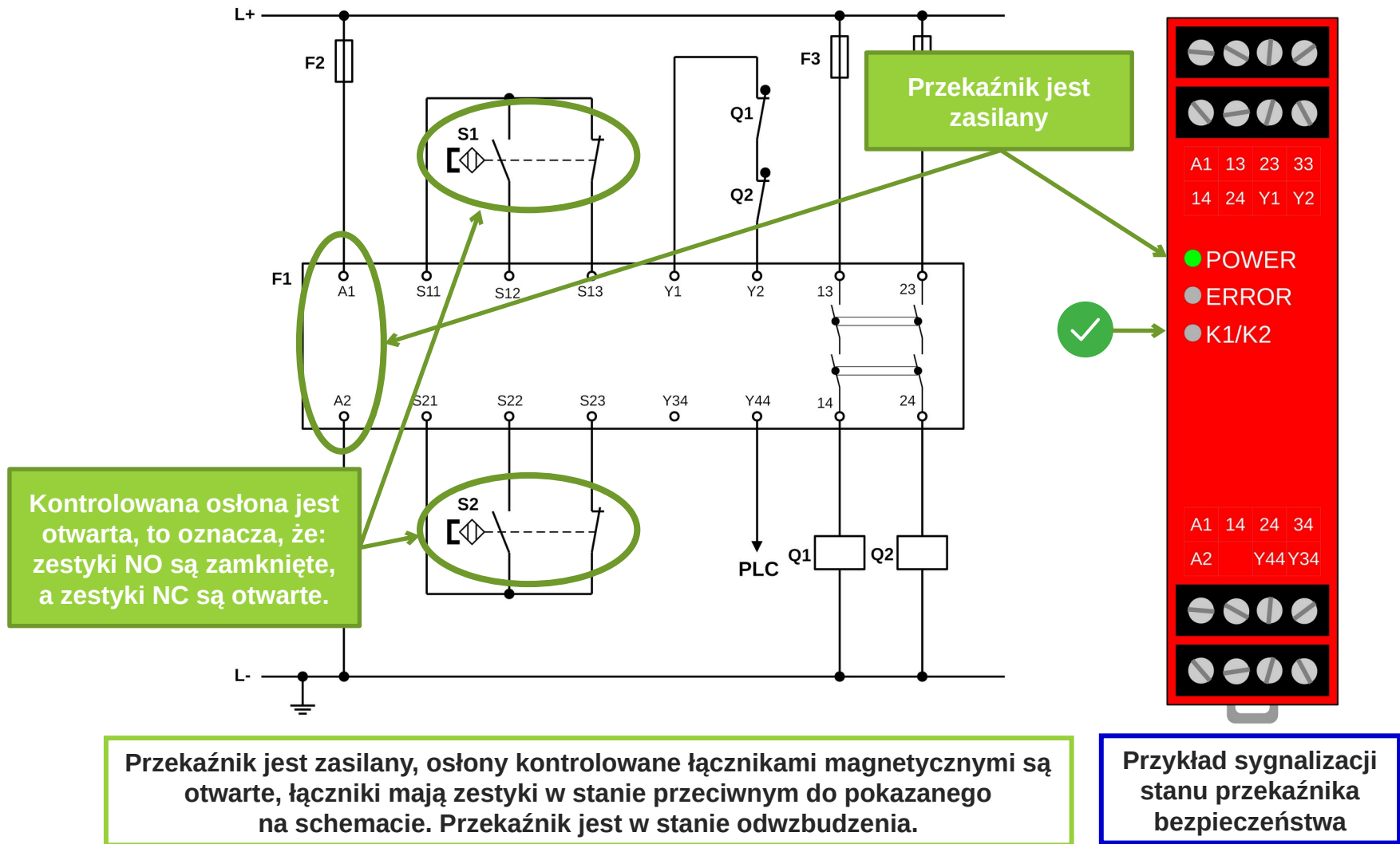
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



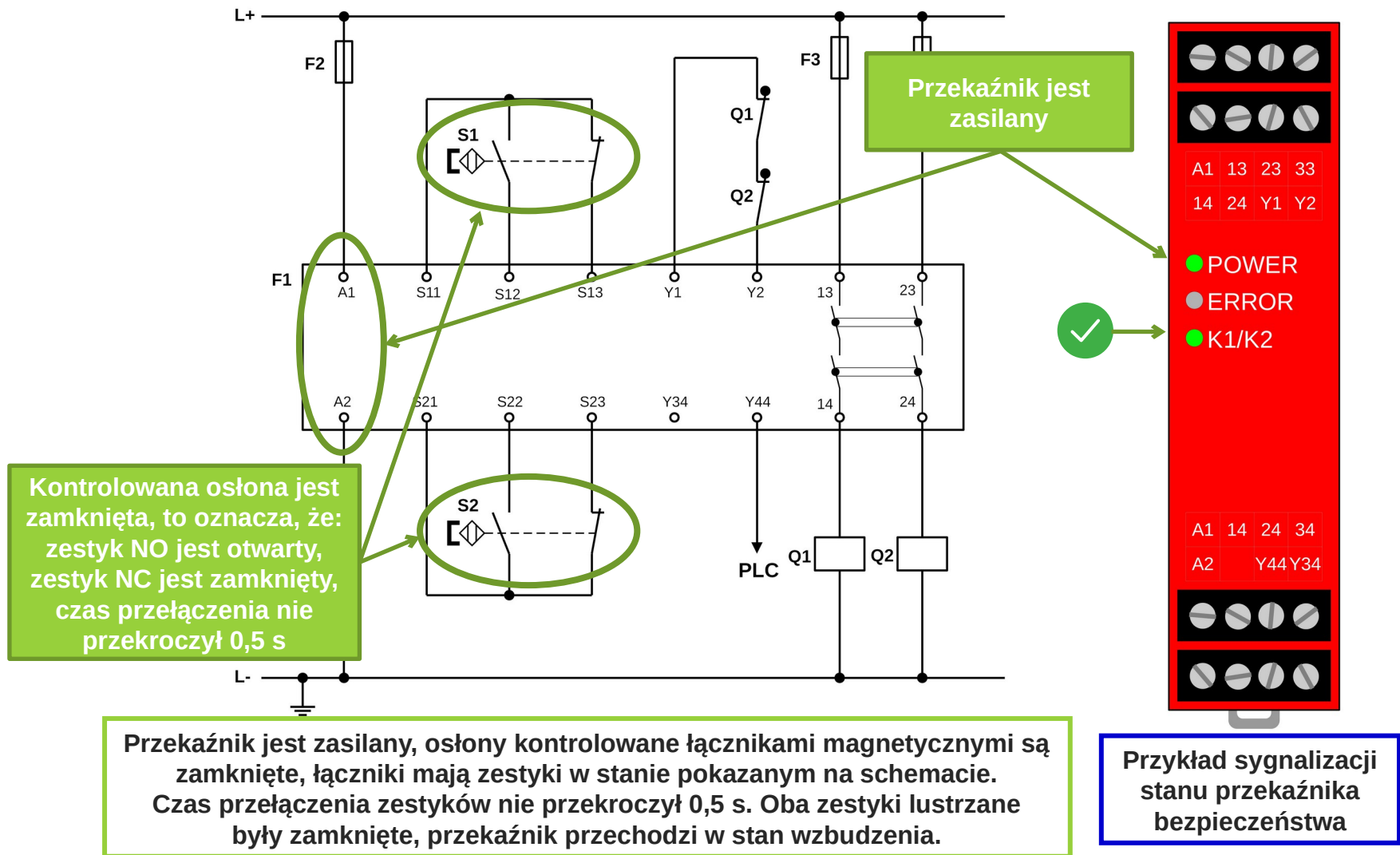
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



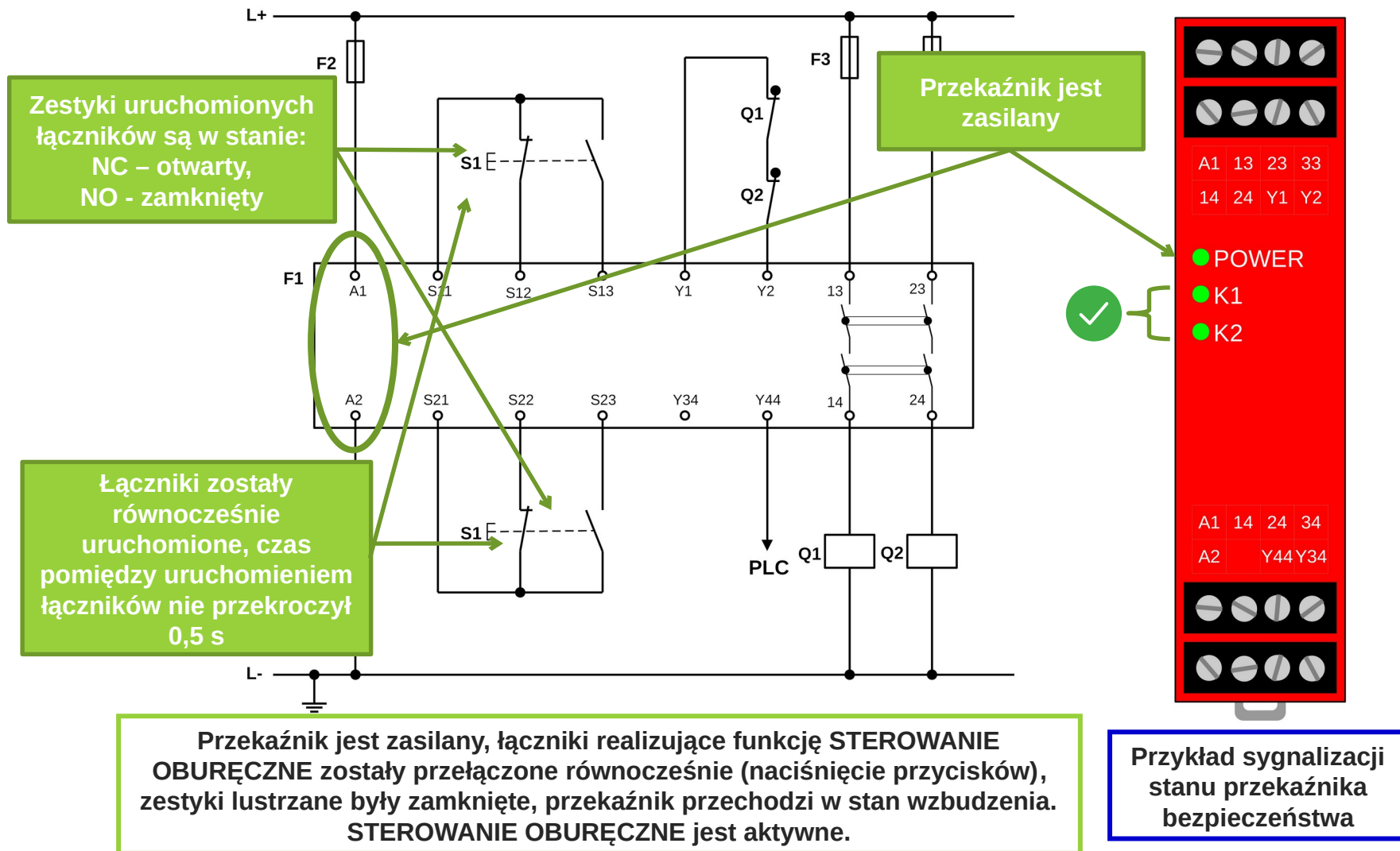
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



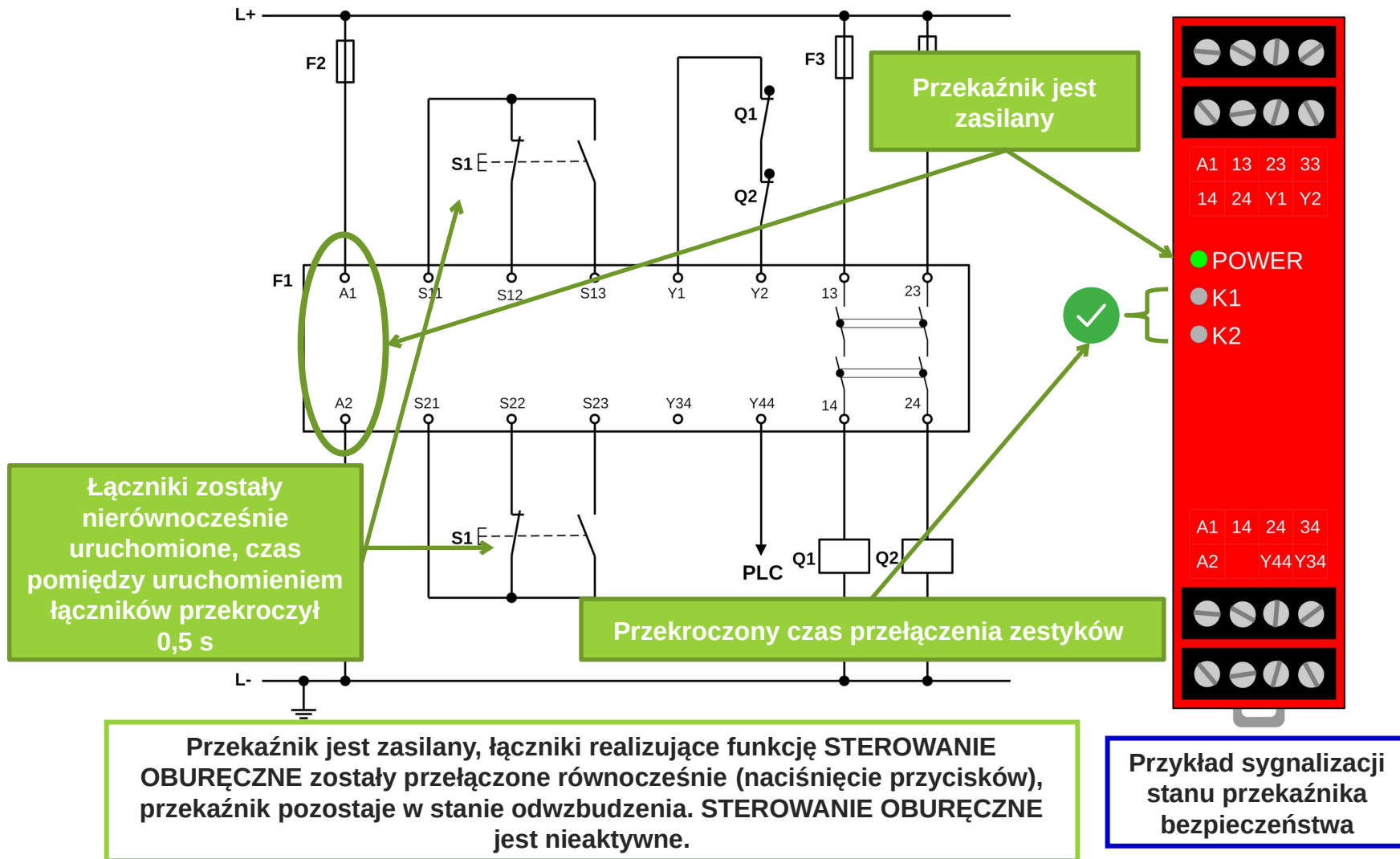
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



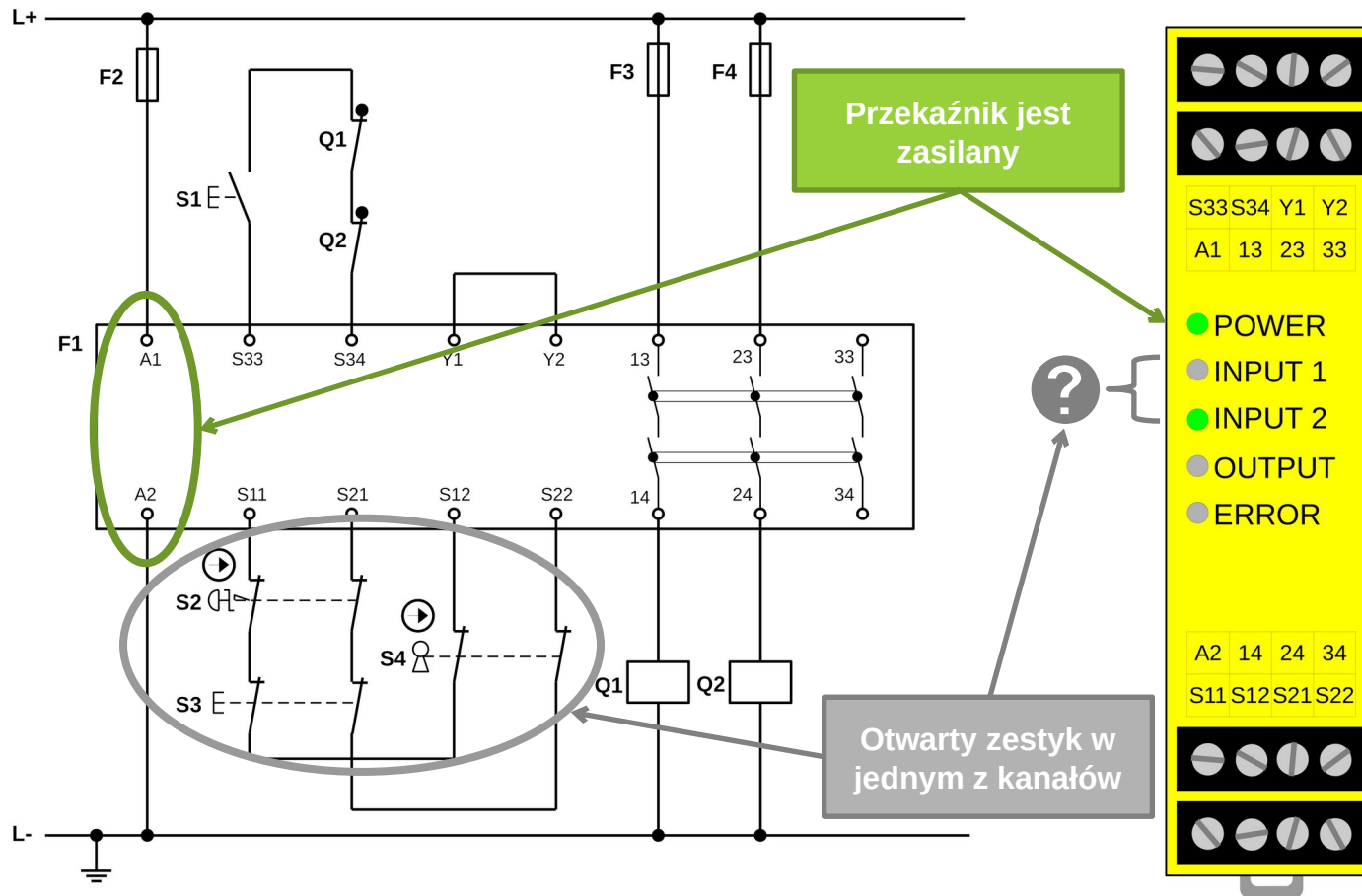
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania



Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku normalnego działania lub uszkodzenia

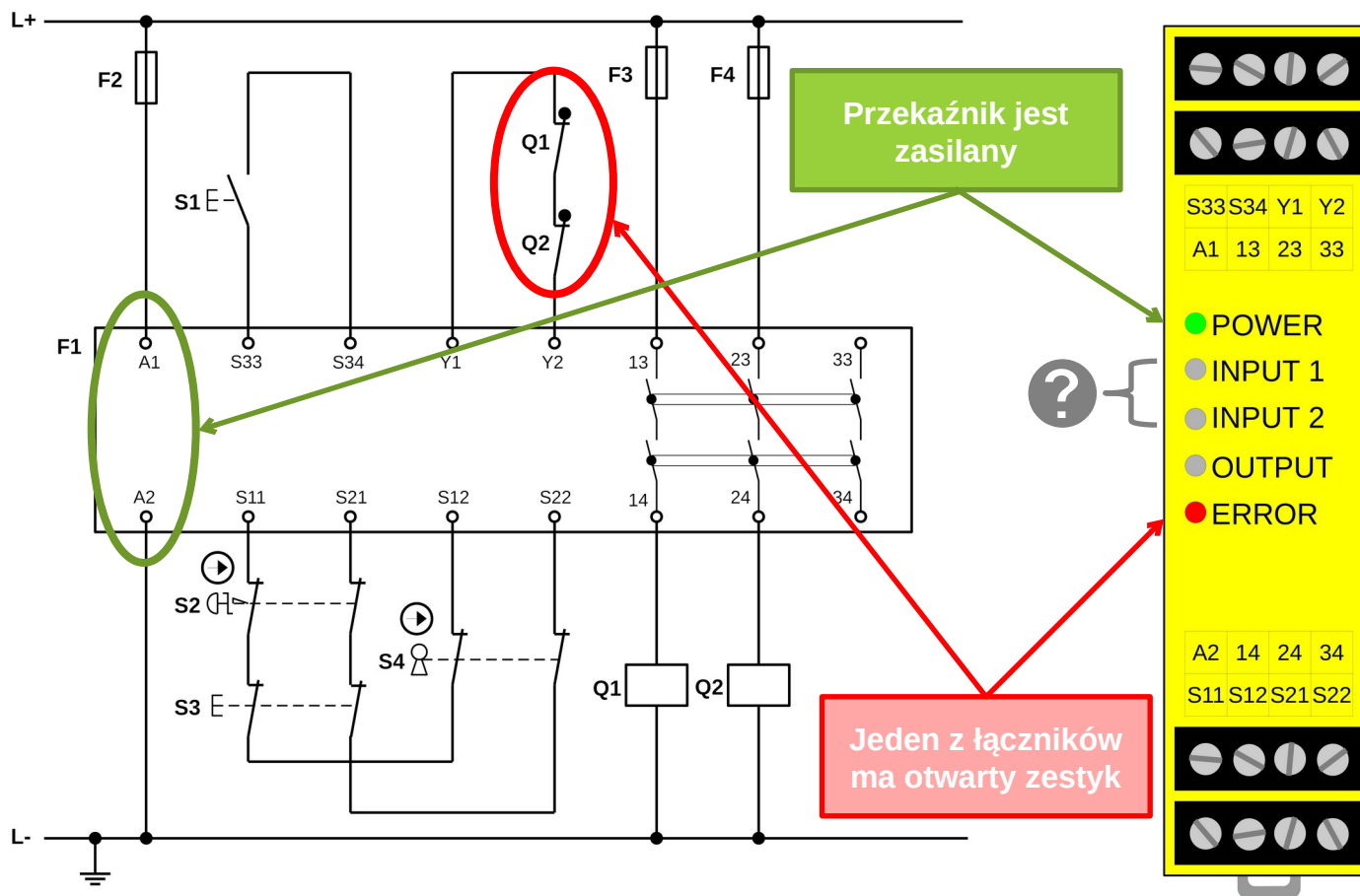


Przełącznik jest zasilany, jeden z kanałów (S11-S12 lub S21-S22) jest otwarty – możliwość uszkodzenia zestyku łącznika dwutorowego, lub w kanale jest otwarty łącznik jednorodowy. Uruchomienie przyciskiem S1 jest niemożliwe.

Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia

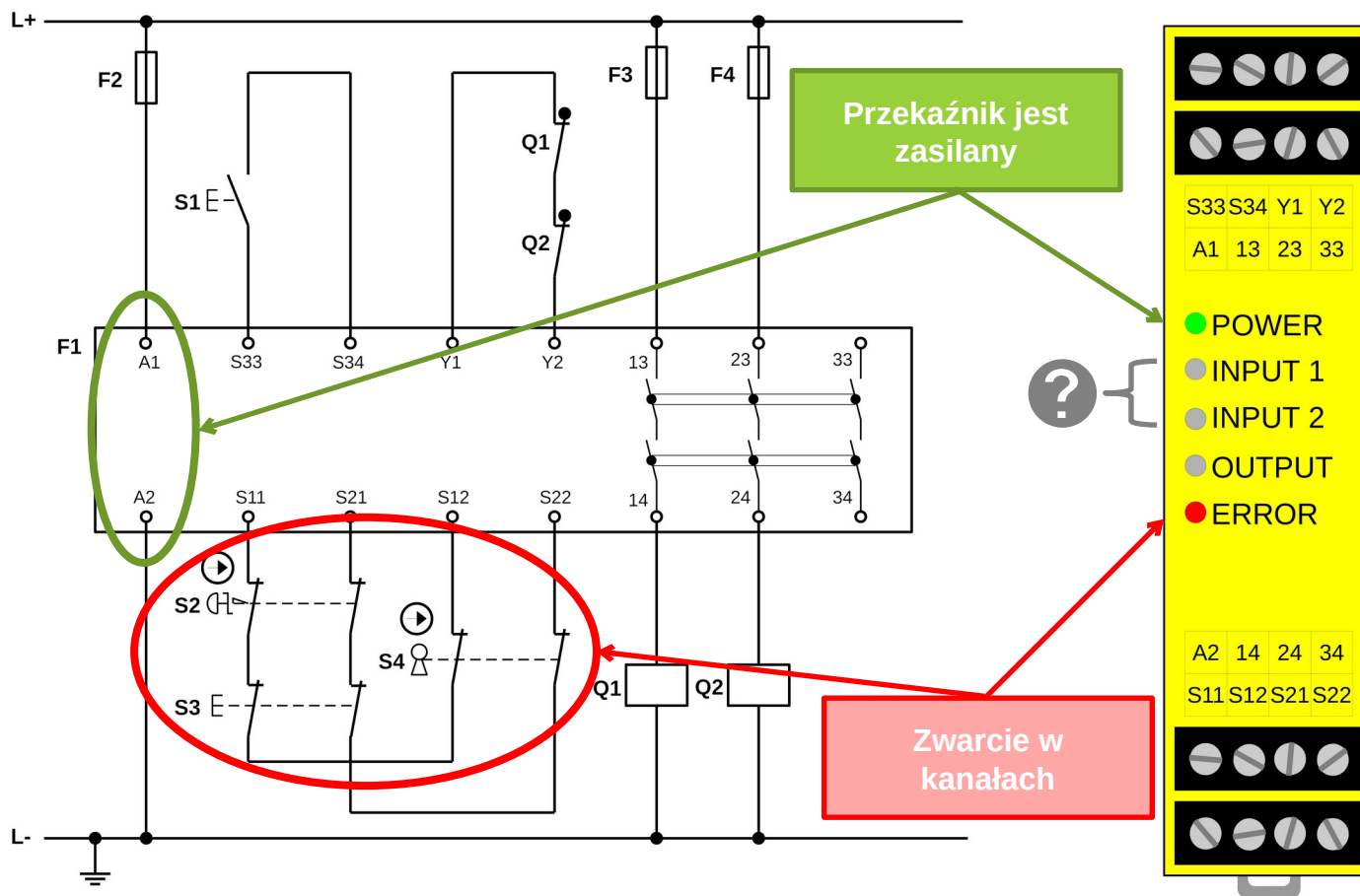


Przełącznik jest zasilany, kanał Y1-Y2 monitorujący ciągłość pętli sprzężenia zwrotnego jest otwarty w stanie odwzbudzenia przełącznika. Uruchomienie przyciskiem S1 jest niemożliwe.

Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia

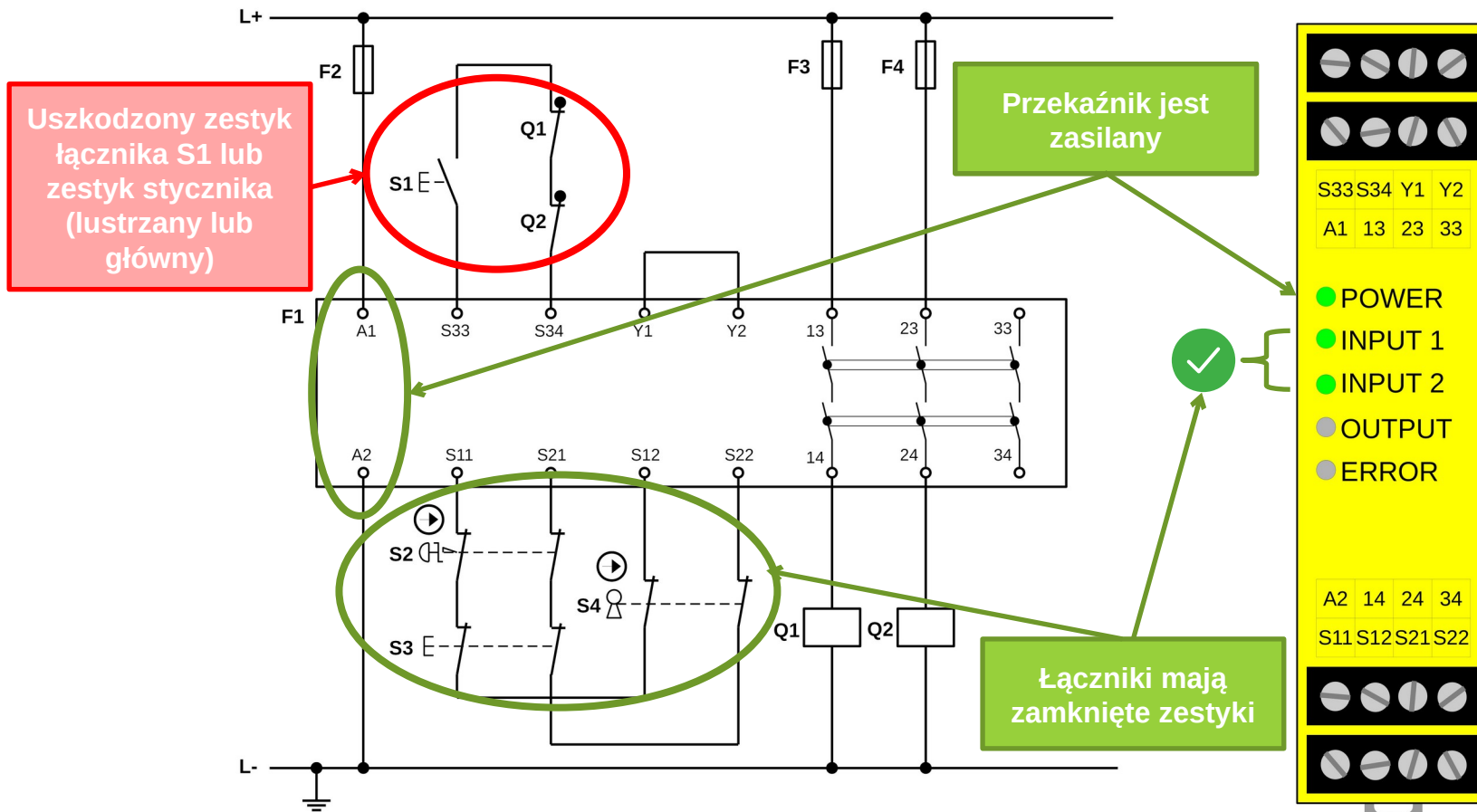


Przełącznik jest zasilany (A1-A2), zestyki lustrzane w kanale Y1-Y2 są zamknięte, w kanałach S11-S12 i S21-S22 jest zwarcie. Uruchomienie przyciskiem S1 jest niemożliwe.

Przykład sygnalizacji stanu przełącznika bezpieczeństwa

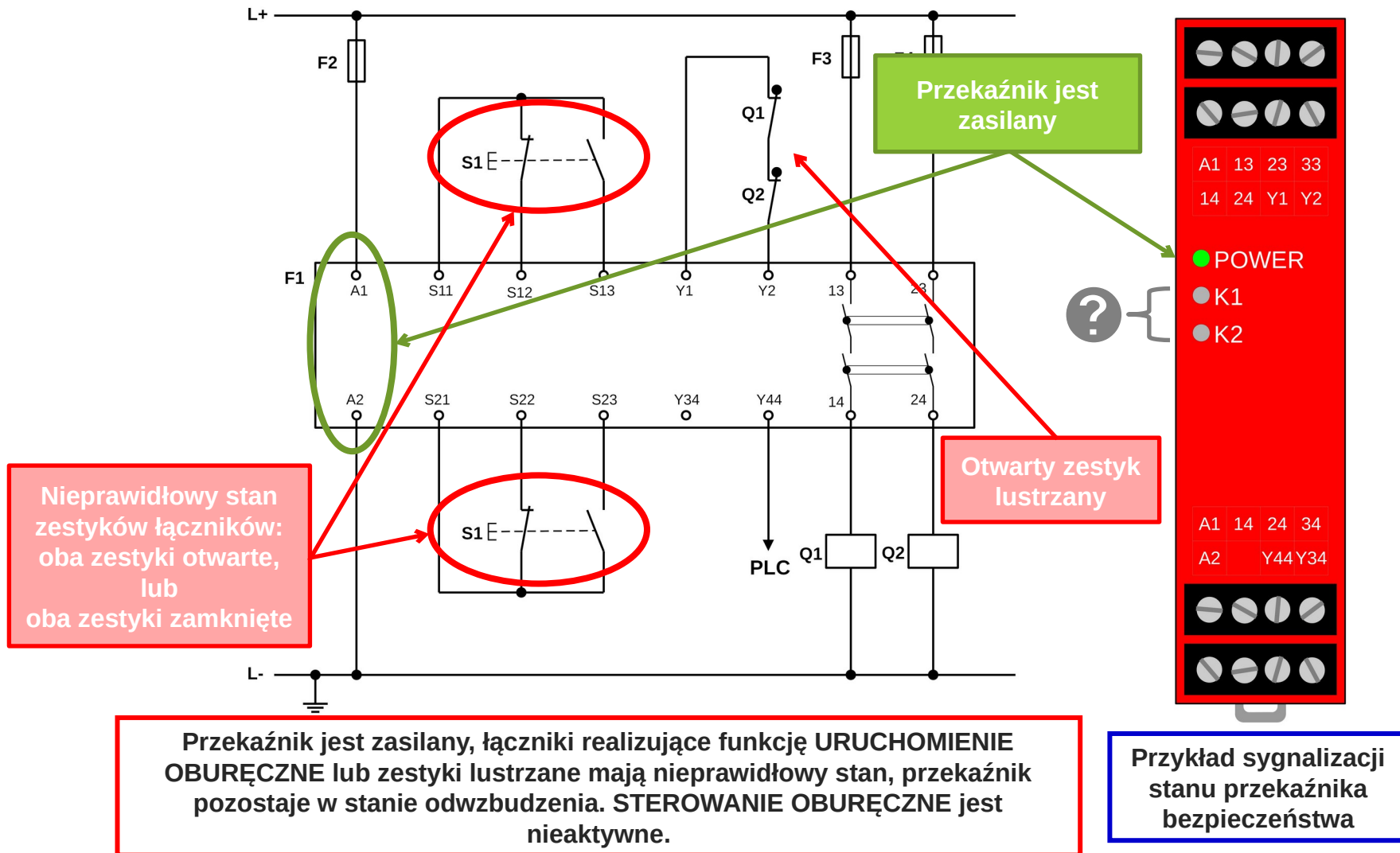
Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia



Przełączniki bezpieczeństwa

Sygnalizacja stanu przełącznika bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia



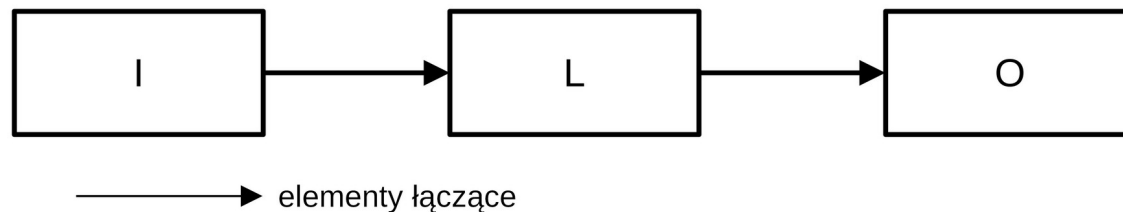
Kategorie

Kategoria B

Kategoria to klasyfikacja elementów systemu sterowania, pełniących funkcje bezpieczeństwa pod względem niezawodności realizowanych funkcji bezpieczeństwa.

W kategorii B urządzenia powinny być wykonane i używane zgodnie z odpowiednimi normami, z zachowaniem podstawowych zasad bezpieczeństwa. Urządzenia powinny wytrzymywać prawdopodobne warunki pracy i warunki środowiskowe. Uszkodzenie może prowadzić do utraty bezpieczeństwa.

Dla kategorii B nie stosuje się pokrycia diagnostycznego (DC_{avg}), poziom niezawodności (PL) dla kategorii B, nie może być wyższy niż „b”. $MTTF_D$ każdego kanału może być niski lub średni.



Struktura kategorii B. Oznaczenia elementów: I – urządzenie wejściowe, L – urządzenie przetwarzające (logika), O – urządzenie wyjściowe

Kategorie

Kategoria 1

W kategorii 1 obowiązują te same wymagania co dla kategorii B, a ponadto systemy bezpieczeństwa powinny być projektowane zgodnie ze sprawdzonymi zasadami bezpieczeństwa i wykonane ze sprawdzonych elementów.

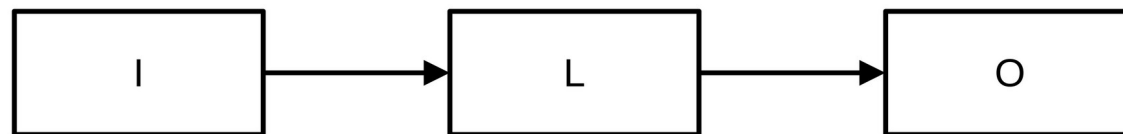
Wypróbowany element przeznaczony do stosowania w systemach bezpieczeństwa, powinien być:

powszechnie stosowany w przeszłości w podobnych zastosowaniach, dając pozytywne wyniki;

wykonany z zastosowaniem sprawdzonych zasad, które gwarantują jego przydatność w systemach bezpieczeństwa.

Dla kategorii 1 nie stosuje się pokrycia diagnostycznego (DC_{avg}). Poziom niezawodności (PL) dla kategorii 1, nie może być wyższy niż „c”.

$MTTF_D$ dla każdego kanału musi być wysoki.



→ elementy łączące

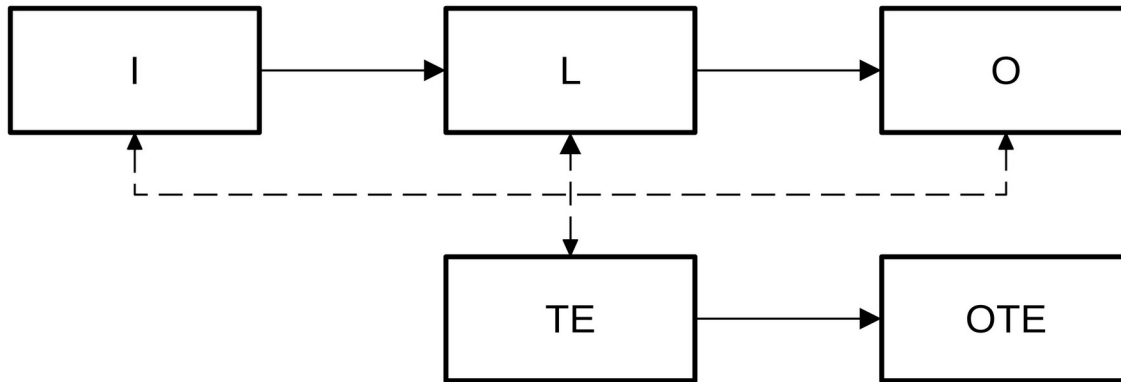
**Struktura kategorii 1. Oznaczenia elementów: I – wejście,
L – urządzenie przetwarzające (logika), O - wyjście**

Kategorie

Kategoria 2

W **kategorii 2** obowiązują te same wymagania co dla kategorii B, wypróbowane zasady bezpieczeństwa i wypróbowane elementy jak dla kategorii 1, a ponadto urządzenia stosowane w systemach bezpieczeństwa powinny być wykonane tak, aby ich funkcje były testowane w odpowiednich odstępach czasu. Test funkcji bezpieczeństwa jest wykonywany przy uruchomieniu maszyny, przed rozpoczęciem niebezpiecznych operacji, np. rozpoczęcie cyklu pracy, w trakcie wykonywania ruchów oraz okresowo w czasie działania, jeżeli ocena ryzyka wykazała taką konieczność. Wynik testu powinien generować pozwolenie na uruchomienie, jeżeli nie wykryto uszkodzeń, lub informację o uszkodzeniu blokującą uruchomienie. DC_{avg} może być niskie.

$MTTF_D$ dla każdego kanału może być niski, średni lub wysoki w zależności od wymaganego poziomu niezawodności (PL_r).



Należy przeciwdziałać CCF. Poziom niezawodności (PL) dla kategorii 2, nie może być wyższy niż „d”.

—————▶ elementy łączące
◀ - - - - ▶ monitoring

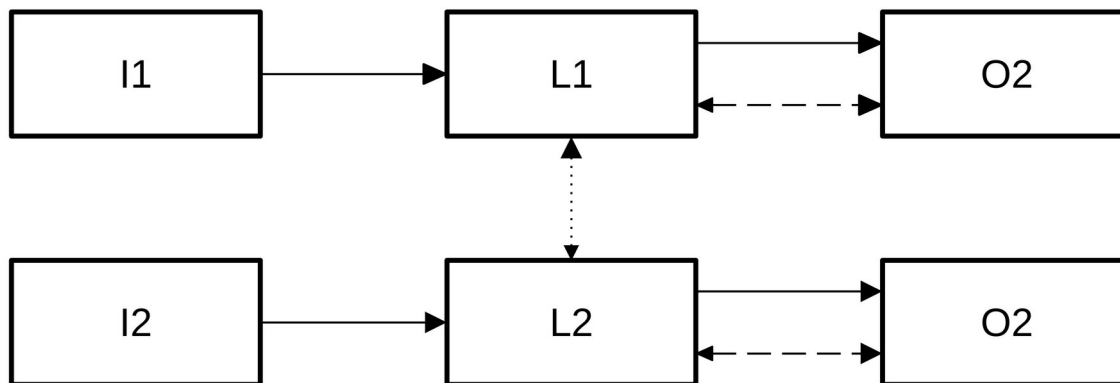
Struktura kategorii 2. Oznaczenia elementów: I – urządzenie wejściowe, L – urządzenie przetwarzające (logika), O – urządzenie wyjściowe, TE – test wyposażenia, OTE – wyjście testu wyposażenia

Kategorie

Kategoria 3

W **kategorii 3** obowiązują te same wymagania co dla kategorii B, wypróbowane zasady bezpieczeństwa i wypróbowane elementy jak dla kategorii 1, a ponadto urządzenia stosowane w systemach bezpieczeństwa powinny być wykonane tak, aby pojedyncza usterka nie prowadziła do utraty bezpieczeństwa. Jeżeli to praktycznie możliwe to pojedyncze uszkodzenie powinno być wykryte w momencie powstania lub w momencie aktywowania funkcji bezpieczeństwa. Pokrycie diagnostyczne (DC_{avg}) całego systemu bezpieczeństwa (łącznie z monitorowaniem uszkodzeń) powinno być niskie. $MTTF_D$ dla każdego kanału może być niski, średni lub wysoki w zależności od wymaganego poziomu niezawodności (PL_r).

Należy przeciwdziałać CCF. W praktyce nie wszystkie uszkodzenia mogą zostać wykryte, a ich nagromadzenie może prowadzić do utraty bezpieczeństwa. Typowym przykładem wykrywania uszkodzeń jest monitoring zestyków urządzeń redundantnych.



- > elementy łączące
- - -> monitoring
- ⋯> monitoring połączeń

Struktura kategorii 3. Oznaczenia elementów: I – urządzenie wejściowe, L – urządzenie przetwarzające (logika), O – urządzenie wyjściowe

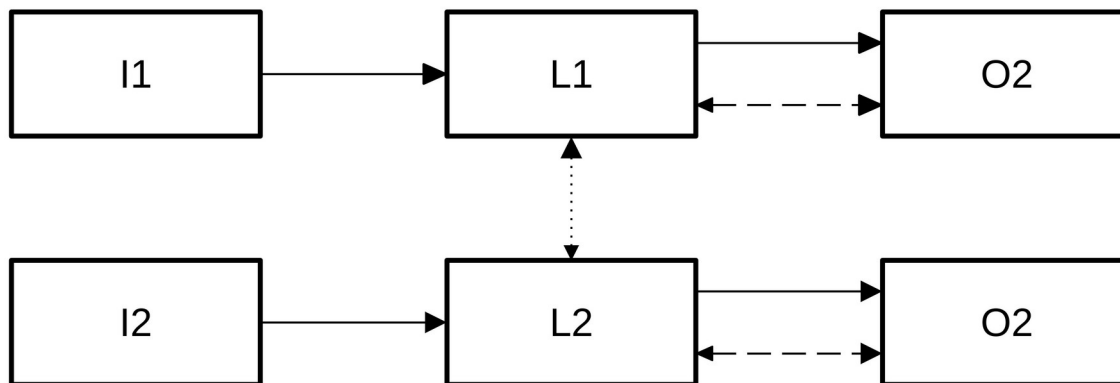
Kategorie

Kategoria 4

W **kategori 4** obowiązują te same wymagania co dla kategorii B, wypróbowane zasady bezpieczeństwa i wypróbowane elementy jak dla kategorii 1, ponadto urządzenia stosowane w systemach bezpieczeństwa powinny być wykonane tak, aby pojedyncza usterka nie prowadziła do utraty bezpieczeństwa. Pojedyncze uszkodzenie powinno być wykryte w momencie powstania lub w momencie aktywowania funkcji bezpieczeństwa. Jeżeli wykrycie uszkodzenia nie jest możliwe, to nagromadzenie uszkodzeń nie może prowadzić do utraty bezpieczeństwa. Pokrycie diagnostyczne (DC_{avg}) całego systemu bezpieczeństwa (łącznie z nagromadzeniem uszkodzeń) powinno być wysokie. $MTTF_D$ dla każdego kanału musi być wysoki.

Należy przeciwdziałać CCF. Różnica pomiędzy kategorią 4 i 3 polega na wymaganym wysokim poziomie DC_{avg} i $MTTF_D$ dla kategorii

4, oraz na uwzględnieniu nagromadzenia uszkodzeń w kategorii 4.



- > elementy łączące
- ← - - - → monitoring
- ← → monitoring połączeń

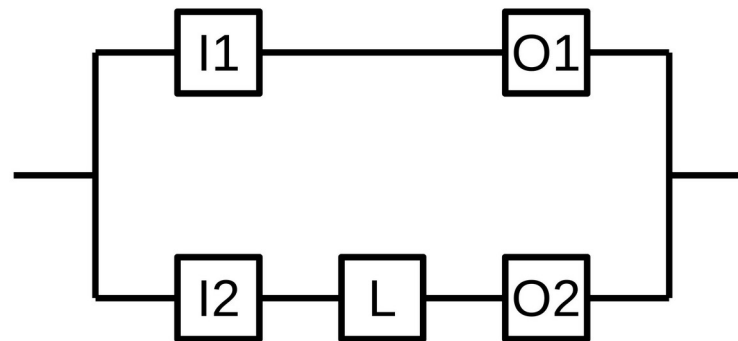
Struktura kategorii 4. Oznaczenia elementów: I – urządzenie wejściowe, L – urządzenie przetwarzające (logika), O – urządzenie wyjściowe

Funkcje bezpieczeństwa

Podstawowe informacje związane z funkcjami bezpieczeństwa

Funkcja bezpieczeństwa to funkcja układu sterownia związana z bezpieczeństwem funkcjonalnym, która w wyniku awarii urządzeń realizujących funkcję bezpieczeństwa, prowadzi do natychmiastowego zwiększenia zagrożenia. Układ sterowania maszyny może realizować kilka funkcji bezpieczeństwa.

Elementy układu sterowania związane z bezpieczeństwem (SRP/CS – ang. *safety-related part of a control system*) elementy układu sterowania pobudzane sygnałami wejściowymi związanymi z bezpieczeństwem i generujące sygnały wyjściowe związane z bezpieczeństwem.



Schemat blokowy urządzeń SRP/CS realizujących funkcję bezpieczeństwa. Schemat przedstawia kanały, urządzenia wejściowe (I1, I2), wyjściowe (O1, O2) i urządzenie przetwarzające sygnały (L).

Poziom niezawodności (PL)

Podstawowe definicje związane z wyznaczaniem poziomu niezawodności

PL – **Poziom niezawodności** odnosi się do urządzeń związanych z bezpieczeństwem (SRP/CS) w układach sterowania i dotyczy skuteczności realizacji funkcji bezpieczeństwa.

Obliczony poziom niezawodności powinien spełniać zależność:

$$PL \geq PL_r$$

Podstawowe definicje związane z ustaleniem poziomu niezawodności:

PL - (ang. performance level) poziom niezawodności;

PL_r - (ang. performance level required) wymagany poziom niezawodności;

MTTF_D – (ang. mean time of dangerous failure) średni czas do niebezpiecznego uszkodzenia;

PFH_D – (ang. Probability of dangerous Failure per Hour) – prawdopodobieństwo niebezpiecznego uszkodzenia na godzinę;

DC – (ang. diagnostic coverage) pokrycie diagnostyczne;

DC_{avg} – (ang. diagnostic coverage average) wartość średnia pokrycia diagnostycznego;

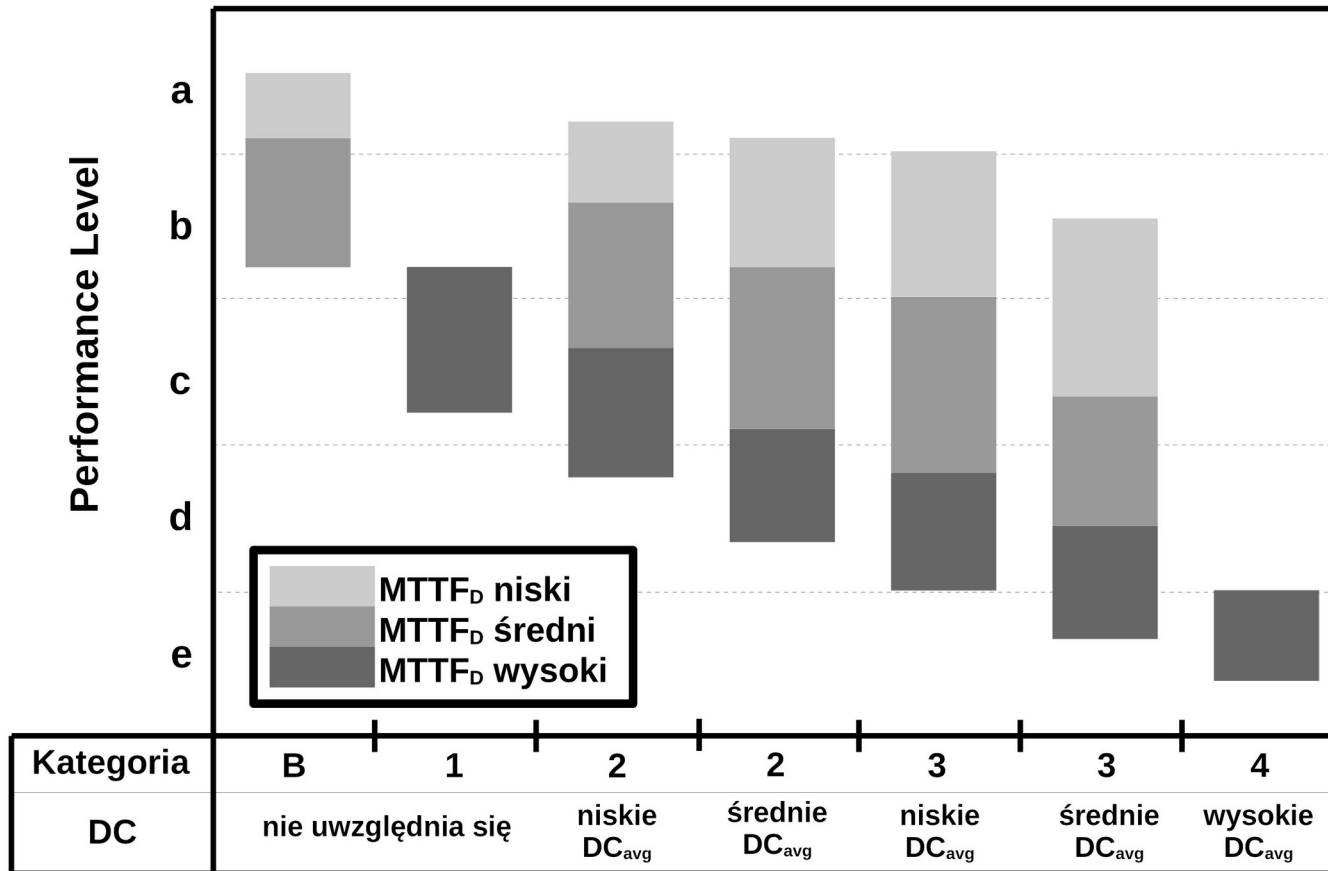
CCF – (ang. common cause failure) uszkodzenia spowodowane wspólną przyczyną;

B_{10D} – średnia ilość cykli roboczych, zanim osiągnięte zostanie uszkodzenie 10 % testowanych urządzeń, powodując niebezpieczną awarię;

T_{10D} – średni czas do momentu, w którym 10 % elementów ulegnie uszkodzeniu, powodując niebezpieczną awarię.

Poziom niezawodności (PL)

Relacja między kategorią, DC_{avg} , $MTTF_D$, a PL



Relacje między kategoriami, DC_{avg} , $MTTF_D$, a PL

Poziom niezawodności (PL)

Ustalenie wymaganego poziomu niezawodności (PL_r)

Obliczenia wykonuje się za pomocą metody graficznej. Przy obliczaniu wymaganego poziomu niezawodności, poza systemami bezpieczeństwa, uwzględnia się inne środki techniczne przeznaczone do redukcji ryzyka, np. osłony.

W przypadku niewielkiego prawdopodobieństwa wystąpienia niebezpiecznych uszkodzeń możliwe jest obniżenie PL_r zgodnie z normą PN-ISO 13849-1, inne wartości PL_r mogą być również podane w normach wyrobu.

Ciężkość obrażeń:

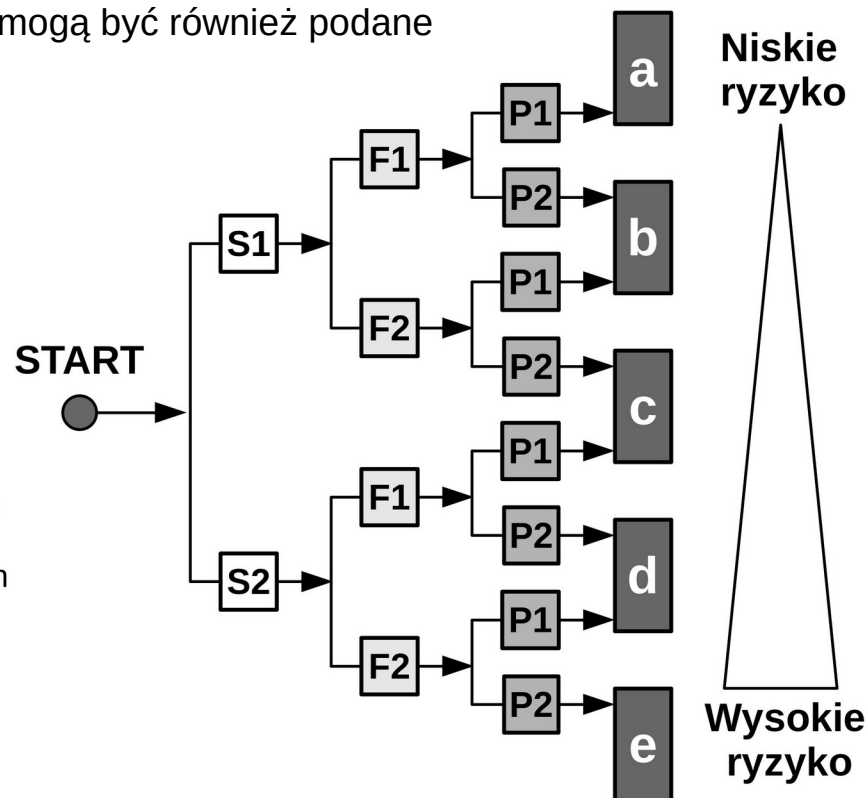
- S1 – lekkie (odwracalne)
- S2 – ciężkie (nieodwracalne/śmierć)

Czas i/lub częstotliwość narażenia na niebezpieczeństwo:

- F1 – rzadko lub średnio
- F2 – często lub ciągle

Możliwość zapobiegania zagrożeniom lub ograniczenia szkód:

- P1 – możliwe w określonych warunkach
- P2 – prawie niemożliwe



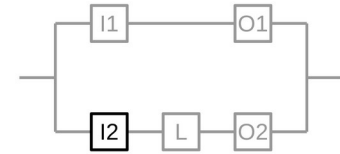
Graf do ustalania wymaganego poziomu niezawodności (PL_r)

Poziom niezawodności (PL)

Obliczenie $MTTF_D$ dla elementów

Obliczenie $MTTF_D$ dla elementów (SRP/CS) pneumatycznych, mechanicznych i elektromechanicznych.

Wartości $MTTF_D$ dla różnych elementów są podane w normie PN-ISO 13849-1, lub Można ją obliczyć na podstawie wartości B_{10D} podanej przez producenta, który może również podać wartość $MTTF_D$ w dokumentacji technicznej.



$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{op}}$$

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600}{t_{cycle}}$$

gdzie:

n_{op} – ilość cykli w ciągu roku;

d_{op} – średnia ilość dni roboczych w ciągu roku;

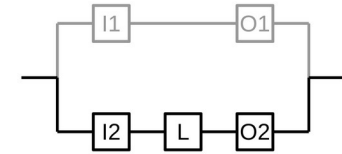
h_{op} – średnia ilość roboczogodzin w ciągu doby;

t_{cycle} – czas cyklu.

Poziom niezawodności (PL)

Obliczenie $MTTF_D$ dla kanałów

Obliczenie wykonuje się na podstawie wartości $MTTF_D$, każdego z elementów w kanale.



$$\frac{1}{MTTF_{DCH1}} = \frac{1}{MTTF_{DI1}} + \frac{1}{MTTF_{DL1}} + \frac{1}{MTTF_{DO1}}$$

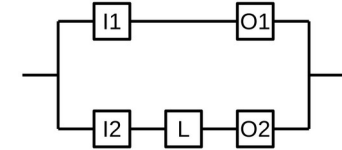
Poziom $MTTF_D$ dla każdego kanału

Poziom $MTTF_D$	Wartość $MTTF_D$
niski	$3 \text{ lata} \leq MTTF_D < 10 \text{ lat}$
średni	$10 \text{ lat} \leq MTTF_D < 30 \text{ lat}$
wysoki	$30 \text{ lat} \leq MTTF_D \leq 100 \text{ lat}$

Poziom niezawodności (PL)

Obliczenie $MTTF_D$ dla funkcji bezpieczeństwa

Jeżeli oba kanały mają ten sam $MTTF_D$ to można go przyjąć jako $MTTF_D$ dla funkcji bezpieczeństwa. Jeżeli wartości $MTTF_D$ są różne, wartość dla funkcji bezpieczeństwa oblicza się z poniższego wzoru lub przyjmuje się wartość mniejszą.



$$MTTF_D = \frac{2}{3} \left(MTTF_{DCH1} + MTTF_{DCH2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{DCH1}} + \frac{1}{MTTF_{DCH2}}} \right)$$

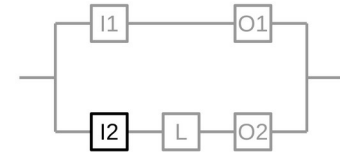
Poziom niezawodności (PL)

Ustalenie pokrycia diagnostycznego DC

Ustalenie pokrycia diagnostycznego DC

$$DC = \frac{\sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_D}$$

gdzie:
 λ_D – ilość uszkodzeń niebezpiecznych;
 λ_{DD} – ilość wykrywanych uszkodzeń niebezpiecznych;
 λ_{DU} – ilość niewykrywanych uszkodzeń niebezpiecznych.



$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU}$$

$$\lambda_D \approx \frac{0,1}{T_{10D}} = \frac{0,1 \cdot n_{op}}{B_{10D}}$$

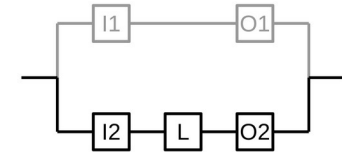
Poziom pokrycia diagnostycznego DC

Poziom DC	Wartość DC
—	DC < 60 %
niski	60 % ≤ DC < 90 %
średni	90 % ≤ DC < 99 %
wysoki	99 % ≤ DC

Poziom niezawodności (PL)

Ustalenie pokrycia diagnostycznego DC

Pokrycie diagnostyczne ustala się na podstawie normy PN-ISO 13849-1, jeżeli funkcje bezpieczeństwa są realizowane przez kilka elementów o różnych wartościach DC, oblicza się wartość średnią DC_{avg} .



$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D2}} + \frac{DC_3}{MTTF_{D3}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{Dn}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \frac{1}{MTTF_{D2}} + \frac{1}{MTTF_{D3}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{Dn}}}$$

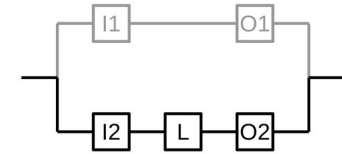
Poziom pokrycia diagnostycznego DC

Poziom DC	Wartość DC
—	$DC < 60 \%$
niski	$60 \% \leq DC < 90 \%$
średni	$90 \% \leq DC < 99 \%$
wysoki	$99 \% \leq DC$

Poziom niezawodności (PL)

Obliczenie PFH_D

Alternatywnie można obliczyć wartości prawdopodobieństwa niebezpiecznego uszkodzenia na godzinę PFH_D, ta metoda daje dokładniejsze wyniki obliczeń.



$$PFH_D = PFH_{DI1} + PFH_{DL} + PFH_{DO1}$$

Relacja między poziomem niezawodności PL, a poziomem PFH_D

PL	PFH _D [1/h]
a	$\geq 10^{-5}$ do $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \cdot 10^{-6}$ do $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ do $< 3 \cdot 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ do $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ do $< 10^{-7}$

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)

Informacje ogólne dotyczące SIL

Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i programowalnych układów sterowania zostało określone w podstawowej normie bezpieczeństwa PN-EN 61508-1 oraz w normie PN-EN 61511. Norma określa poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (ang. safety integrity level). Normy określają 4 poziomy SIL: SIL 1, SIL 2, SIL 3 i SIL 4, poziom SIL 4 jest związany ze skutkami katastroficznymi i nie jest rozważany w przypadku maszyn. Wymagania dotyczące poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa maszyn, dotyczące zasad projektowania i walidacji znajdują się w normie na bezpieczeństwo maszyn PN-EN 62061.

Relacja pomiędzy PL a SIL

PL	SIL
a	brak relacji
b	1
c	1
d	2
e	3

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)

Informacje ogólne dotyczące SIL

Poziom SIL określa się w zależności od poziomu zapotrzebowania na bezpieczeństwo funkcjonalne dla elementów systemu (podsystemów), a także dla całego systemu. Poziom SIL dla całego systemu jest określany na podstawie poziomów SIL elementów, prawdopodobieństwa awarii oraz wielu innych kryteriów oceny.

$$PFD_{SYS} = PFD_S + PFD_L + PFH_{FE}$$

PFD – prawdopodobieństwo niebezpiecznej awarii (ang. *probability of failure of demand*)

PFD_{avg} jest obliczany jako suma wartości PFD dla podsystemów:

Relacja między poziomem SIL, a PFD_{avg} (małe zapotrzebowanie na zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonalnego – praca dorywcza) i PFH_D (duże zapotrzebowanie na zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonalnego – praca ciągła)

SIL	PFD _{avg}	PFH _D [1/h]
1	≥ 10 ⁻² do < 10 ⁻¹	≥ 10 ⁻⁶ do < 10 ⁻⁵
2	≥ 10 ⁻³ do < 10 ⁻²	≥ 10 ⁻⁷ do < 10 ⁻⁶
3	≥ 10 ⁻⁴ do < 10 ⁻³	≥ 10 ⁻⁸ do < 10 ⁻⁷

Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL)

Wyznaczanie wymaganego poziomu SIL

Skutek	Ciężkość S	Klasa C = F + O + P				
		3 - 4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
Śmierć, utrata ręki lub oka	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Kalectwo, utrata palców	3			SIL 1	SIL 2	SIL 3
Odwracalny (leczenie)					SIL 1	SIL 2
Odwracalny (pierwsza pomoc)	1					SIL 1

$C = 4 + 3 + 3 = 10$

Częstotliwość lub czas przebywania F	
≥ 1h	5
> 1h ≥ 1 dzień	4
> 2 dni ≥ 1 tydzień	3
> 2 tygodni ≥ 1 rok	2
> 1 rok	1

Prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji zagrożenia O	
częste	5
prawdopodobne	4
możliwe	3
rzadkie	2
nieistotne	1

Możliwość uniknięcia P	
niemożliwe	5
możliwe	3
prawdopodobne	1

Określenie wymaganego poziomu SIL – ustalono SIL 1

Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia PL

Prosta obrabiarka, jest wyposażenie w jedno narzędzie skrawające napędzane silnikiem indukcyjnym.

Dostęp do strefy niebezpiecznej jest zabezpieczony ruchomą osłoną. Praca polega na otwarciu osłony zamocowaniu obrabianego komponentu, zamknięciu osłony i uruchomieniu cyklu skrawania.

Obwód sterowania maszyny jest wyposażony w urządzenia pełniące funkcje bezpieczeństwa (SRP-CS):

XALK178F – łącznik realizujący funkcję ZATRZYMANIE AWARYJNE, wyposażony w zestyki NC

XCSDMC7905 – łącznik magnetyczny kontrolujący zamknięcie osłony ruchomej;

XPS-AF – przekaźnik bezpieczeństwa;

LP4K0901BW3 – 2 styczniki elektromagnetyczne.

Praca jest wykonywana średnio 250 dni w roku, praca jest wykonywana 8 godzin dziennie, a czas cyklu wynosi 60 s.

Łącznik zatrzymania awaryjnego jest uruchamiany raz na zmianę w czasie testu układu sterowania.

W maszynie identyfikowano 2 funkcje bezpieczeństwa:

1 – „zatrzymanie awaryjne”;

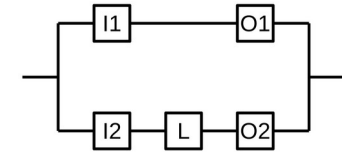
2 – „osłona ruchoma”.

Zgodnie z obliczeniami za pomocą oprogramowania SISTEMA, funkcja bezpieczeństwa „zatrzymanie awaryjne” ma PL e, a funkcja „osłona ruchoma” ma PLd.

Przykład obliczania PL

Przykład 1 – oszacowanie PLr

Wymagany poziom niezawodności jest identyczny dla obu funkcji bezpieczeństwa i wynosi PLr c. Dalsze obliczenia dotyczą funkcji „osłona_ruchoma”.



Ciężkość obrażeń:

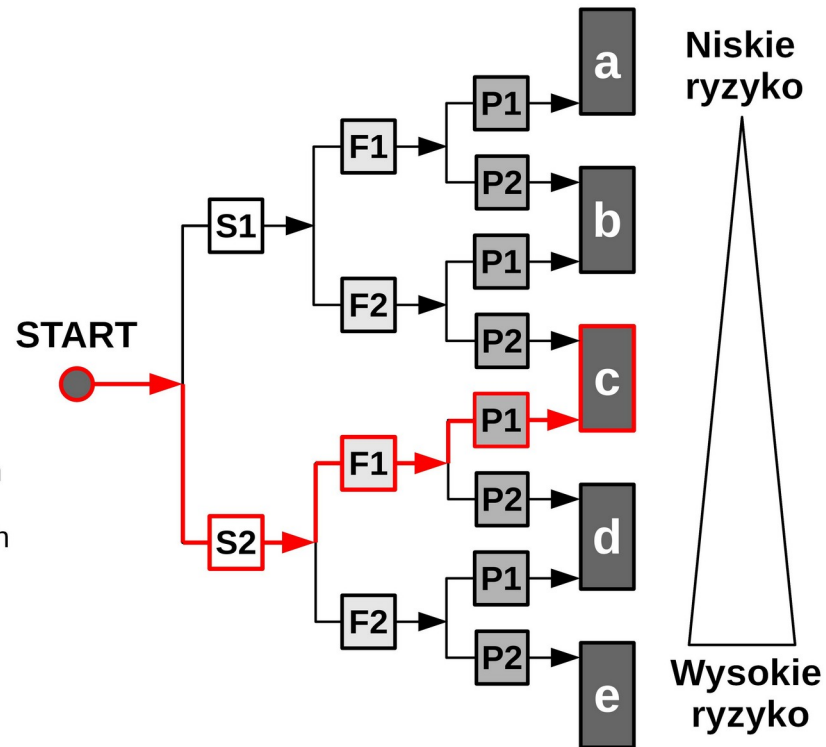
- S1 – lekkie (odwracalne)
- S2 – ciężkie (nieodwracalne/śmierć)

Czas i/lub częstotliwość narażenia na niebezpieczeństwo:

- F1 – rzadko lub średnio
- F2 – często lub ciągle

Możliwość zapobiegania zagrożeniom lub ograniczenia szkód:

- P1 – możliwe w określonych warunkach
- P2 – prawie niemożliwe



Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia dla elementu

XCSDMC – łącznik magnetyczny osłony ruchomej

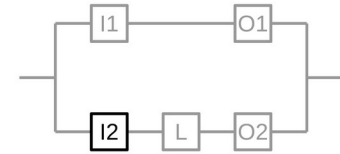
$B_{10D} = 50\,000\,000$

DC = 90 % (przyjęte na podstawie normy PN-ISO 13849-1)

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600}{t_{cycle}} = \frac{250 \cdot 8 \cdot 3600}{60} = 120\,000$$

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{op}} = \frac{50\,000\,000}{0,1 \cdot 120\,000} = 4166,66$$

$$T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{op}} = \frac{50\,000\,000}{120\,000} = 416,7$$



XPS-AF – przekaźnik bezpieczeństwa

PL e/Kategoria 4

$MTTF_D = 243$ lata

$PFH_D = 4,62 \times 10^{-9}$ 1/h

DC > 99 %

Zgodnie z wykresem maksymalnej ilości cykli dla obciążenia indukcyjnego (DC13) przy napięciu 24 V DC, przekaźnik należy wymienić przed upływem 8,3 lat.

Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia dla elementu

LP4K0901BW3 – stycznik

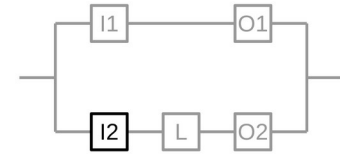
$B_{10D} = 1\,369\,863$

DC = 99 % (przyjęte na podstawie normy PN-ISO 13849-1)

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600}{t_{cycle}} = \frac{250 \cdot 8 \cdot 3600}{60} = 120\,000$$

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{op}} = \frac{1369863}{0,1 \cdot 120000} = 114,2$$

$$T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{op}} = \frac{1369863}{120000} = 11,4$$



Obliczona wartość $MTTF_D$ ma poziom „wysoki”, styczniki powinny być wymienione przed upływem 11,4 lat.

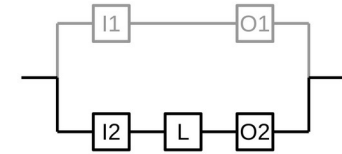
Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia dla kanału

Obliczenie wartości $MTTF_D$

$$\frac{1}{MTTF_{DCH1}} = \frac{1}{4166,7} + \frac{1}{243} + \frac{1}{114,2}$$

$$MTTF_{DCH1} = 76,3$$



Obliczenie wartości pokrycia diagnostycznego DC

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D2}} + \frac{DC_3}{MTTF_{D3}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \frac{1}{MTTF_{D2}} + \frac{1}{MTTF_{D3}}} = \frac{\frac{90}{4167} + \frac{99}{243} + \frac{99}{114}}{\frac{1}{4167} + \frac{1}{243} + \frac{1}{114}} = 98,8\%$$

Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia dla kanału

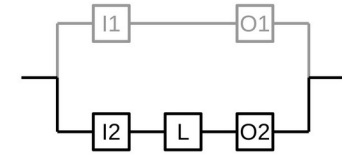
Ocena sposobu zapobiegania CCF

(Ocena wykonana na podstawie oprogramowania SISTEMA)

Separacja/segregacja	15 pkt.
Zróźnicowanie	0 pkt.
Projekt/aplikacja/doświadczenie	20 pkt.
Ocena/analiza	5 pkt.
Kompetencje/szkolenie	0 pkt.
Warunki środowiskowe	35 pkt.

RAZEM **75 pkt.**

Zależność $CCF \geq 65$ jest spełniona, środki ochrony przed CCF uznano za wystarczające.



Przykład obliczania PL

Przykład 1 – obliczenia dla funkcji bezpieczeństwa

Wymagany poziom niezawodności PL_r c

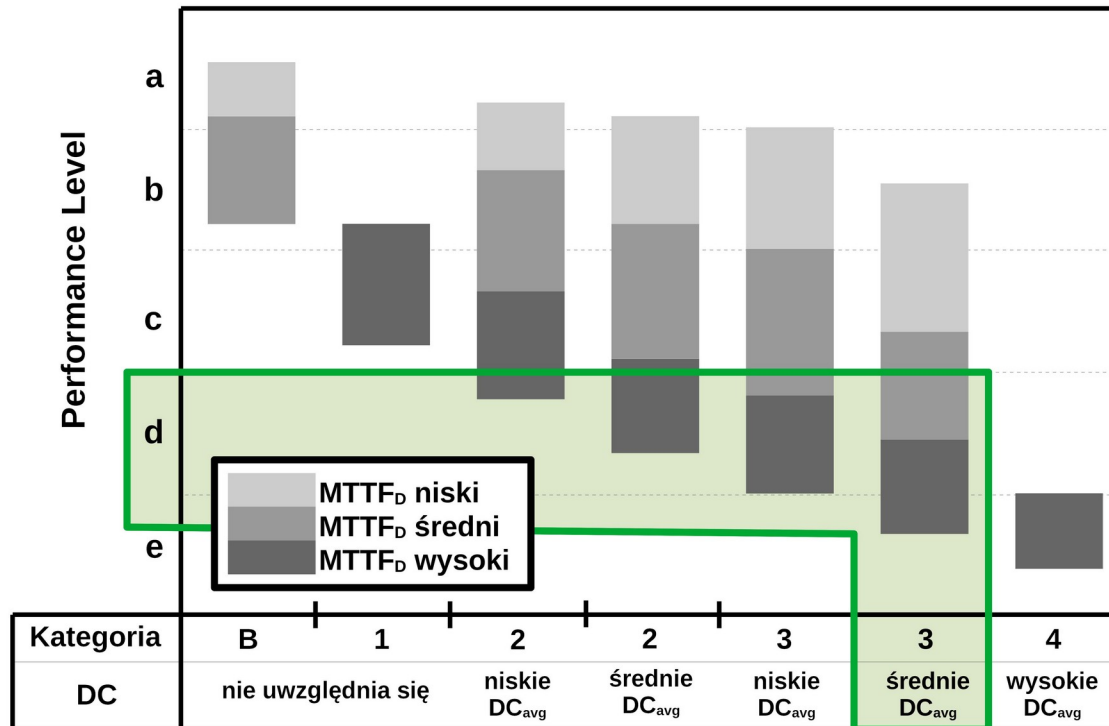
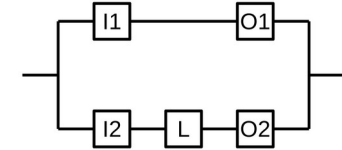
Poziom niezawodności PL d – poziom niezawodności jest odpowiedni, $PL \geq PL_r$

Kategoria 3

$MTTF_D = 76,3$ lat – poziom wysoki

$DC_{avg} = 98,8\%$ – poziom średni

CCF = 75 pkt. – wymagania spełnione



SISTEMA

Oprogramowanie SISTEMA

SISTEMA jest oprogramowaniem opracowanym przez **Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy Niemieckiego Społecznego Instytutu Pracy (IFA)**. SISTEMA jest oprogramowaniem dostępnym nieodpłatnie, również do zastosowań komercyjnych.

Oprogramowanie SISTEMA jest przeznaczone do obliczania poziomu niezawodności (PL) zgodnie z normą ISO 13849-1 i innymi właściwymi normami.

SISTEMA jest oprogramowaniem powszechnie stosowanym, czołowe firmy produkujące wyposażenie elektrotechniczne udostępniają biblioteki elementów, przeznaczone dla oprogramowania SISTEMA.

SISTEMA

Przykład 1 – wskazanie funkcji bezpieczeństwa

W projekcie wyznaczono dwie funkcje bezpieczeństwa: „zatrzymanie_awaryjne” i „oslona_ruchoma”

Status	Name	Type	PLr	PL
✓ SF	zatrzymanie_awaryjne		c	e
⚠ SF	oslona_ruchoma		c	d

Status	Name	Type	PLr	PL
✓ SF	zatrzymanie_awaryjne		c	e
⚠ SF	oslona_ruchoma		c	d

Context

PLr -
PL -
PFHD [1/h] -

SB -
PL -
PFHD [1/h] -
Cat. -
MTTFD [a] -
DCavg [%] -
CCF -

BL -
MTTFD [a] -
DC [%] -

EL -
MTTFD [a] -
DC [%] -

Messages

- ✓ CH Channel 1
The channels MTTFD has been cut from originally 236 742,4 to 2 500 a. For a channel 2 500 a is the maximum acceptable r time to a dangerous failure.
- ✓ CH Channel 2
The channels MTTFD has been cut from originally 236 742,4 to 2 500 a. For a channel 2 500 a is the maximum acceptable r time to a dangerous failure.
- ✓ BL TESYS Contactor (nominal load)
Conflict in the configuration: If the MTTFD value or the DC value respectively is calculated from elements the other value sh be computed from elements either.
Conflict in the configuration: If the MTTFD value or the DC value respectively is calculated from elements the other value sh

"Schneider_Electric_SAFETY_INPUT_devices_2020_02.slb [locked]"

SISTEMA

Przykład 1 – obliczenie wymaganego poziomu niezawodności (PL_r)

The screenshot displays the SISTEMA software interface for configuring a safety function. The left sidebar shows a project tree with the function 'zatrzymanie_awaryjne' selected. The main area shows the configuration parameters for this function. A blue box highlights the 'Required Performance Level' (PL_r) configuration, which is set to 'c'. A yellow box highlights the 'Severity of injury (S)' and 'Frequency and/or exposure times to hazard (F)' configurations, which are set to 'S2' and 'F1' respectively. A blue callout box at the bottom contains the text: 'Graficzne ustalenie wymaganego poziomu niezawodności (PL_r) dla funkcji bezpieczeństwa „zatrzymanie_awaryjne”'. The interface also shows a 'Context' panel with various parameters like PL, PFHD, and MTTFD, and a 'Messages' panel at the bottom.

SISTEMA

Przykład 1 – ustalenie kategorii

The screenshot displays the SISTEMA software interface. On the left, a project tree shows a hierarchy of components under 'PR przyklad_1', including 'zatrzymanie_awaryjne', 'Emergency Stop, 2 contacts', and various channels and modules. The 'Report' menu is highlighted with a blue arrow. The main window shows the 'Subsystem' configuration, with a 'Category' tab selected. The 'Category of subsystem' section contains a table with technical requirements and a fault tree diagram. A yellow box highlights this diagram, which shows a fault tree with events I1, I2, L1, L2, O1, and O2. A blue callout box points to the 'Requirements for the category' section, stating: 'Kategoria ustalona automatycznie na podstawie danych producenta'. The 'Context' window at the bottom left shows parameters for the selected subsystem, such as PL, PFHD, MTTFD, DCavg, and CCF. The 'Messages' window at the bottom right displays a message about MTTFD values for Channel 1 and Channel 2.

Kategoria ustalona automatycznie na podstawie danych producenta

SISTEMA

Przykład 1 – obliczenia na podstawie wprowadzonych danych

The screenshot shows the SISTEMA software interface. On the left is a project tree with a selected component: **EL. Contactor TESYS (nominal load)**. The main window displays the 'MTTFD' calculation form. The form has three radio buttons: 'Enter MTTFD value directly', 'Determine MTTFD value from B10D / B10 value' (selected), and 'Determine MTTFD value from Lambda / MTTF / MTBF and RDF value'. The input fields are: B10D: 1 369 863 Cycles, nop: 120 000 Cycles / a, T10D: 11,4 a, MTTFD: 114,2 a, and MTTFD level: High. A yellow box highlights these input fields. A blue box contains the following text: **Dla obliczonego n_{op} , T_{10D} jest mniejsze niż „cykl życia” zakładany w SISTEMA, wynoszący 20 lat. Przed upływem 11,4 roku należy wymienić oba styczniki.**

SISTEMA

Przykład 1 – obliczenia na podstawie wprowadzonych danych

The screenshot displays the SISTEMA software interface. The main window shows a project tree on the left with a selected item: "SB Coded Magnetic Switch XCSDMC/P/R, several sensors in series". The main area shows a "Library of CCF Measures" dialog box with a table of measures. A blue arrow points from the "Report" menu to the dialog box, and another blue arrow points from the dialog box to a blue callout box containing the text "Ocena środków dotyczących przeciwdziałania CCF".

Library of CCF Measures

No.	Measure against CCF	Points
MEASURES FORM ISO 13849-1:2015, TABLE F.1		
Separation / Segregation		
1	Physical separation between signal paths, for example: — separation in wiring/piping; — detection of short circuits and open circuits in cables by dynamic test; — separate shielding for the signal path of each channel; — sufficient clearances and creepage distances on printed-circuit boards.	15
Diversity		
2	Different technologies/design or physical principles are used, for example: — first channel electronic or programmable electronic and second channel electromechanical — different initiation of safety function for each channel (e.g. position, pressure, temperature), and/or — digital and analog measurement of variables (e.g. distance, pressure or temperature) and/or — Components of different manufactures.	20
Design / application / experience		
3.1	Protection against over-voltage, over-pressure, over-current, over-temperature, etc.	15
3.2	Components used are well-tried.	5
Assessment / analysis		
4	For each part of safety related parts of control system a failure mode and effect analysis has been carried out and its results taken into account to avoid common-cause-failures in the design.	5
Competence / training		
5	Training of designers to understand the causes and consequences of common cause failures.	5

Messages

- CH Channel 1: The channels MTTFD has been to a dangerous failure.
- CH Channel 2: The channels MTTFD has been to a dangerous failure.

Context

oslonna_ruchoma

PLr c

PL d

PFHD [1/h] 1,1E-7

SB Coded Magnetic Switch XCSDMC/P/R, several sensors in series

PL d

PFHD [1/h] 1E-7

Cat. 3

MTTFD [a] 100 (High)

DCavg [%] 60 (Low)

CCF 75 (fulfilled)

BL -

MTTFD [a] -

DC [%] -

EL -

MTTFD [a] -

DC [%] -

SISTEMA

Przykład 1 – obliczenia na podstawie wprowadzonych danych

The screenshot displays the SISTEMA software interface. The main window shows a project tree on the left with a selected element. A 'Library of DC Measures' dialog box is open in the center, displaying a table of measures. A blue arrow points from the 'Library' button in the main window to the dialog box. Another blue arrow points from a blue callout box to the 'Messages' panel at the bottom right.

Library of DC Measures

Description	DC	dependant on	not sufficient for PLS
Fault detection by the process	0 - 99	depending on the application	e
Output device			
Monitoring of outputs by one channel without dynamic test	0 - 99	depending on how often a signal change is done by the application	-
Cross monitoring of outputs without dynamic test	0 - 99	depending on how often a signal change is done by the application	-
Cross monitoring of output signals with dynamic test without detection of short circuits (for multiple VO)	90	-	-
Cross monitoring of output signals and intermediate results within the logic (L) and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple VO)	99	-	-
Redundant shut-off path with monitoring of the actuators by logic and test equipment	99	-	-
Indirect monitoring (e.g. monitoring by pressure switch, electrical position monitoring of actuators)	90 - 99	depending on the application	-
Fault detection by the process	0 - 99	depending on the application	e
Direct monitoring (e.g. electrical position monitoring of control valves, monitoring of electromechanical devices by mechanically linked contact elements)	99	-	-

Messages

- ✓ BL. TESYS Contactor (nominal load) Conflict in the configuration: If the DC value is computed from elements either by the designated architecture or by the designated architecture tab MTTFD, which falls below the required value.
- ⚠ EL. Contactor TESYS (nominal load) For the designated architecture or by the designated architecture tab MTTFD, which falls below the required value.

Ustalenie pokrycia diagnostycznego DC

Przykład 1 – biblioteka urządzeń

The screenshot displays the SISTEMA software interface, version 2.0.8. The main window is titled "SISTEMA - Library v2.0.8" and features a menu bar (File, Edit, View, Help) and a toolbar with options like "Create New Library", "Add local Library...", "Add Network Library...", "Close Library", "Lock Library...", and "Library Properties".

The left sidebar shows a tree view of libraries. The selected library is "BL (18)", and the selected device is "ALTVAR 320 - STO with L13 & L14 or L15 & L16". A blue box labeled "Biblioteka elementów" (Element Library) is overlaid on the device details panel, with arrows pointing to the selected device in the tree and the device details form.

The right pane shows the "Subsystem" details for the selected device. The "Name of Subsystem" is "ALTVAR 320 - STO with L13 & L14 or L15 & L16". The "Device details" section includes fields for "Device Manufacturer", "Device", "Part number", "Revision", and "Function". The "Function" section has checkboxes for "Input", "Logic", "Output", and "unknown", with "Logic" and "Output" checked. The "Use case" and "Description of the use case" fields are empty. The "Documentation" section contains the following text:

For STO:
SL= 2; PFHd = 2.66E-8; SFF = 94.8%; Category= 3; PL= d; HFT= 0; DC= 90%; MTTFd= 4290 years;
PFD =2.33E-4 (1 year)
=2.44E-3 (10 years)

The "Context" section at the bottom left shows the following parameters:

Parameter	Value
PL	d
PFHD [1/h]	2,7E-8
Cat.	3
MTTFd [a]	not relevant
DCavg [%]	not relevant
CCF	not relevant

The "Messages" section at the bottom right is empty. The status bar at the bottom indicates the current device is "Schneider_Electric_SAFETY_OUTPUT_devices_2020_02.slb [locked]".

