

mgr inż. TOMASZ MOLENDĄ
mgr inż. PIOTR SZYMAŁĄ
mgr inż. PIOTR LOSKĄ
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

Rola badań konstruktorskich na poszczególnych etapach procesu projektowania urządzeń automatyki

W artykule opisano sposób podejścia do prac związanych z projektowaniem. Podkreślono powody, dla których kolejne fazy projektowania muszą być realizowane z uwzględnieniem przyszłych badań konstruktorskich. Przytoczono normy obowiązujące przy badaniach konstruktorskich. Opisano przykłady badań konstruktorskich możliwych do wykonania w laboratoriach Centrum Badań i Certyfikacji Instytutu EMAG, tj. badań kompatybilności elektromagnetycznej, badań związanych z wymaganiami środowiskowymi i iskrobezpieczeństwem.

1. WSTĘP

Przeprowadzanie badań konstruktorskich jest stałym i niezbędnym elementem procesu projektowania urządzeń automatyki od jego etapów początkowych aż po końcowe. Badania te spełniają różne funkcje, w zależności od konkretnego projektu i jego etapu. Mają one kolejno na celu: dobór rozwiązań, weryfikację założeń, sprawdzenie poprawności działania i przygotowanie prototypu do badań końcowych. Zależnie od potrzeb zakres przeprowadzanych badań, ich przebieg i sposób wykorzystania wyników mogą się zatem znacznie różnić.

2. BADANIA W POSZCZEGÓLNYCH ETAPACH PROJEKTOWANIA

Przeznaczenie urządzenia oraz zastosowane w nim rozwiązanie narzucają zakres dyrektyw, jakim będzie ono podlegać, oraz norm, których wymagania powinno spełniać. Ustalenie dyrektyw i norm jest konieczne przed rozpoczęciem projektowania. W znacznej mierze decyduje to o badaniach przeprowadzanych w każdym z etapów projektu. W wielu

przypadkach normy wręcz narzucają projektującemu zastosowanie konkretnych rozwiązań, a przynajmniej znacznie zawężają ich wybór. W szczególności dotyczy to iskrobezpiecznych urządzeń automatyki stosowanych w strefach zagrożonych wybuchem. Normy bardzo ściśle i szczegółowo określają zakres badań oraz sposób ich przeprowadzania, a także kryteria oceny. Dotyczy to oczywiście prototypu i badań końcowych, ale przekłada się bezpośrednio na zakres i sposób przeprowadzania badań konstruktorskich, bezpośrednio poprzedzających badania końcowe.

W przypadku opracowywania rozwiązania konkretnego problemu przy wyborze danej metody może okazać się konieczne przeprowadzenie badań, które ten wybór umożliwią, a po dokonaniu wyboru rozwiązania niezbędne mogą być również kolejne badania, prowadzące do udoskonalenia i optymalizacji zastosowanej metody. Badania na tym etapie projektu mogą się bardzo różnić pod względem sposobu ich przeprowadzania. Przykładowo mogą one obejmować badania modeli cząstkowych wybranego fragmentu urządzenia, realizującego daną jego funkcję, przy czym modele mogą być zarówno teoretyczne, jak i rzeczywiste, wykonane tylko dla potrzeb przeprowadzenia tych badań. Badania modeli teoretycznych, polegające na przeprowadzeniu odpowiedniej analizy czy symulacji, pozwalają uniknąć kosztow-

nego i czasochłonnego wykonywania oraz badania modeli rzeczywistych. Oczywiście w zależności od potrzeb i możliwości można rozważyć rozwiązanie pośrednie, polegające na przeprowadzeniu symulacji na modelu teoretycznym oraz wykonaniu modelu rzeczywistego, pozwalającego zweryfikować wyniki teoretyczne i ewentualnie dokonać niezbędnych poprawek. Rozwiązanie to jest korzystne, ponieważ pozwala w pewnym stopniu ograniczyć czas i koszty badań poprzez ograniczenie się w przeważającej części do modelu teoretycznego, dając jednocześnie większą pewność dzięki wynikom potwierdzonym na modelu rzeczywistym.

Przy realizacji urządzeń przeznaczonych do współpracy z konkretnym obiektem, w zależności od potrzeb, badania mogą obejmować również wyznaczenie odpowiednich charakterystyk i właściwości tego obiektu.

W ograniczonym zakresie, w zależności od wcześniejszych doświadczeń zdobytych w trakcie realizacji podobnych zadań, możliwe jest wykorzystanie sprawdzonych rozwiązań, co również pozwala na ograniczenie czy nawet pominięcie niektórych badań konstruktorskich – wykonywane w tym wypadku badania służą wyłącznie do potwierdzenia poprawności rozwiązania.

3. BADANIA KOŃCOWE

Badania końcowe, przeprowadzane w akredytowanych laboratoriach i jednostkach certyfikujących, mają na celu weryfikację zgodności zaprojektowanego urządzenia z wymaganiami właściwych norm, umożliwiającą wystawienie deklaracji zgodności. Dla urządzeń automatyki opracowywanych w Instytucie EMAG najczęściej są to badania związane z iskrobezpieczeństwem, kompatybilnością elektromagnetyczną oraz badania środowiskowe. Badania końcowe zgodności z określonymi normami mogą być wykonywane tylko w jednostkach i laboratoriach posiadających akredytację dla tych norm, natomiast w przypadku badań konstruktorskich nie jest to konieczne. Badania konstruktorskie, podczas których urządzenia przygotowywane są do badań końcowych, wykonywane są jednak najczęściej w tych samych laboratoriach, w których następnie będą przeprowadzane badania końcowe. Ponadto rzeczywisty przebieg badań konstruktorskich jest zwykle bardzo zbliżony do przebiegu badań końcowych. Jeżeli przy danym badaniu urządzenie nie spełnia wymagań, dokonywane są w nim niezbędne poprawki i zmiany, a następnie badanie to jest powtarzane, a działania te

przybierają często przebieg iteracyjny. W lokalizacji i usuwaniu przyczyn niespełnienia przez badane urządzenie wymagań norm może być pomocna zmiana parametrów badania. W badaniach konstruktorskich takie zmiany mogą być dokonywane, natomiast badania końcowe wykonywane są zawsze w ścisłym związku z normami. Podczas realizacji kolejnych badań konstruktorskich należy mieć na uwadze, aby środki techniczne zastosowane w celu poprawienia własności urządzenia w jednym badaniu nie pogarszały jego własności w kontekście badań pozostałych (nawet innego rodzaju). Przykładowo – poprawki w konstrukcji mechanicznej urządzenia dokonane ze względu na warunki środowiskowe mogą negatywnie wpływać na jego własności związane z kompatybilnością elektromagnetyczną. W szczególnych przypadkach jedyną możliwością spełnienia wymagań może okazać się częściowe ograniczenie właściwości funkcjonalnych urządzenia, np. zapewnienie odporności na zaburzenia elektromagnetyczne może być możliwe tylko dla mniejszej niż wcześniej zakładana prędkości transmisji. Jednym z trudniejszych do zrealizowania wymagań jest jednocześnie zapewnienie iskrobezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej. Możliwości stosowania rozwiązań poprawiających kompatybilność elektromagnetyczną w urządzeniach iskrobezpiecznych są w znacznej mierze ograniczone [1]. Ponieważ podczas badań konstruktorskich, zwłaszcza kompatybilności elektromagnetycznej, mogą okazać się niezbędne odpowiednie modyfikacje urządzenia, powinny być one przeprowadzane przed certyfikacją ATEX. Każdy rodzaj badania konstruktorskiego wymaga innego przygotowania prototypu. W prototypie przeznaczonym do badań konstruktorskich kompatybilności elektromagnetycznej nie powinno się stosować środków zapewniających odporność na warunki środowiskowe wykorzystywanych w prototypie przeznaczonym do konstruktorskich badań środowiskowych, takich jak zalewy albo powłoki, ponieważ utrudniają lub uniemożliwiają one wprowadzanie zmian w urządzeniu.

4. BADANIA KONSTRUKTORSKIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

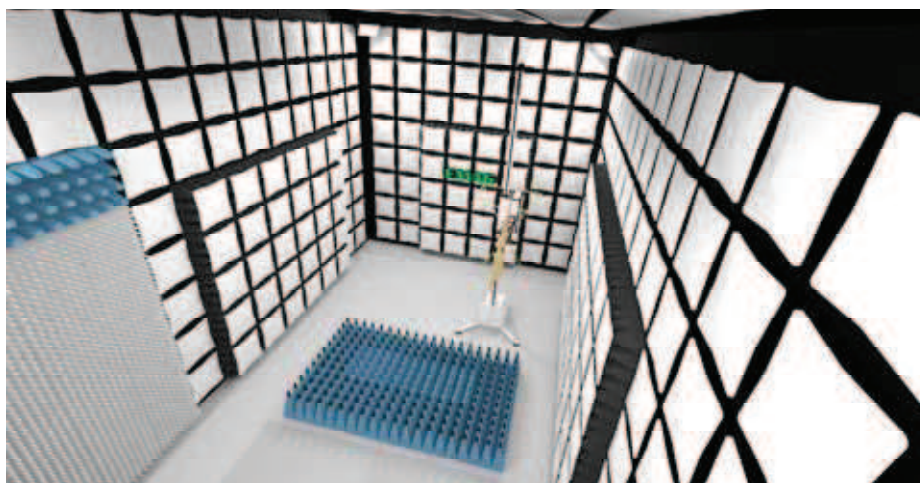
W trakcie badań kompatybilności elektromagnetycznej sprawdzana jest odporność urządzeń na poszczególne rodzaje zaburzeń oraz poziom zaburzeń emitowanych przez badane urządzenie. Zakres badań obejmujących dane urządzenie może się znacznie różnić w zależności od rodzaju urządzenia, jego przeznaczenia, lokalizacji i sposobu podłączenia w syste-

mie. Badania konstruktorskie pozwalają dokonać w urządzeniu niezbędnych zmian i modyfikacji, które zapewnią spełnienie wymagań. W trakcie badań konstruktorskich można przetestować urządzenie dla poziomów narażeń odpowiednio większych, niż wynikałoby to z wymagań określonych w normach, celem zapewnienia marginesu bezpieczeństwa w trakcie badań końcowych. W przypadku konieczności zastosowania dodatkowych środków dla spełnienia wymagań, zwłaszcza gdy konieczne jest ich iteracyjne dobieranie, doraźnie można posłużyć się przeznaczonymi do tego celu środkami technicznymi, jakie mogą być dostępne w laboratorium, i na tej podstawie w dalszej kolejności zastosować analogiczne rozwiązania w badanym urządzeniu. Badania końcowe kompatybilności elektromagnetycznej przeprowadzane są według szczegółowego planu, a o ocenie wyników decydują odpowiednie kryteria. Zarówno plan badań, jak i kryteria oceny opracowywane są według norm obowiązujących dla danego urządzenia. W zależności od konkretnego badania może być wymagane zachowanie przez urządzenie jego określonych cech funkcjonalnych podczas narażenia albo samoczynne przywrócenie tych cech po narażeniu bez ingerencji z zewnątrz. Z tego powodu plan badań i kryteria oceny powinny być opracowane jeszcze przed badaniami konstruktorskimi bezpośrednio poprzedzającymi badania końcowe.

Podczas badań odporności na zaburzenia przewodzone narażany jest osobno każdy rodzaj portu w urządzeniu, zatem w miarę możliwości należy dążyć do unifikacji rodzajów portów.

Do badań kompatybilności elektromagnetycznej realizowanych przez laboratorium w Instytucie EMAG należą [2]:

1. badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD) – metody badawcze: PN-EN 61000-4-2, PN-EN 60255-22-2,
2. badanie odporności na promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej – metody badawcze: PN-EN 61000-4-3, PN-EN 60255-22-3,
3. badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych (BURST) – metody badawcze: PN-EN 61000-4-4, PN-EN 60255-22-4,
4. badanie odporności na udary (SURGE) – metody badawcze: PN-EN 61000-4-5, PN-EN 60255-22-5,
5. badanie odporności na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej – metody badawcze: PN-EN 61000-4-6, PN-EN 60255-22-6,
6. badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej – metoda badawcza: PN-EN 61000-4-8,
7. badanie odporności na impulsowe pole magnetyczne – metoda badawcza: PN-EN 61000-4-9,
8. badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia zasilania (AC) – metody badawcze: PN-EN 61000-4-11, PN-EN 60255-11,
9. badanie odporności na tłumione przebiegi sinusoidalne – metoda badawcza: PN-EN 61000-4-12,
10. badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia występujące w przyłączy zasilającym prądu stałego (DC) – metody badawcze: PN-EN 61000-4-29, PN-EN 60255-11,
11. pomiar elektromagnetycznych zaburzeń przewodzonych – metody badawcze: PN-EN 55011, PN-EN 55014-1, PN-EN 55022, PN-EN 55025, PN-EN 55016-2-1, PN-EN 60255-25,
12. pomiar elektromagnetycznych zaburzeń promieniowanych – metody badawcze: PN-EN 55011, PN-EN 55014-1, PN-EN 55022, PN-EN 55025, PN-EN 55016-2-3, PN-EN 60255-25,



Rys. 1. Laboratorium badań kompatybilności elektromagnetycznej CBC EMAG [3]

13. pomiar harmonicznych i interharmonicznych prądu – metody badawcze: PN-EN 61000-3-2, PN-EN 61000-3-12, PN-EN 61000-4-7,
14. pomiar wahań napięcia i migotania światła – metody badawcze: PN-EN 61000-3-3, PN-EN 61000-3-11, PN-EN 61000-4-15.

5. BADANIA KONSTRUKTORSKIE ZWIĄZANE Z WYMAGANIAMI ŚRODOWISKOWYMI

W trakcie badań środowiskowych testowana jest odporność i wytrzymałość urządzeń na narażenia środowiskowe, w szczególności klimatyczne i wibracyjne. Decydujące znaczenie dla wyników tych badań mają: zastosowane materiały i technologie, konstrukcja mechaniczna i montaż urządzenia, a także właściwy dobór elementów składowych pod względem ich dopuszczalnych zakresów temperatur i wilgotności pracy oraz przechowywania. Minimalne wymagania dla iskrobezpiecznych urządzeń automatyki określono w normach górniczych: PN-G 50003. *Ochrona pracy w górnictwie – Urządzenia elektryczne górnicze – Wymagania i badania* oraz PN-G 50006. *Ochrona pracy w górnictwie – Urządzenia automatyki i telekomunikacji górniczej – Wymagania i badania*.

Do badań klimatycznych realizowanych przez laboratorium w Instytucie EMAG zalicza się [4]:

- badania odporności i wytrzymałości na zimno (próba A) wg PN-EN 60068-2-1,

- badania odporności i wytrzymałości na suche gorąco (próba B) wg PN-EN 60068-2-2,
- badania odporności na wilgotne gorąco stałe (próba CAB) wg PN-EN 60068-2-78,
- badania odporności i wytrzymałości na zmiany temperatury (próba N) wg PN-EN 60068-2-14,
- badania odporności i wytrzymałości na wilgotne gorąco cykliczne (próba Db) wg PN-EN 60068-2-30.

Wśród badań wibracyjnych realizowanych przez laboratorium w Instytucie EMAG wymienić można [4]:

- badania odporności i wytrzymałości na wibracje sinusoidalne (próba Fc) wg PN-EN 60068-2-6,
- badania odporności i wytrzymałości na wibracje przypadkowe (random, próba Fh) wg PN-EN 60068-2-64,
- badania odporności i wytrzymałości na udary mechaniczne (próba Ea) wg PN-EN 60068-2-27,
- testy wytrzymałości mechanicznej urządzeń (drżania sinusoidalne, random i udary mechaniczne).

Przy badaniu wytrzymałości urządzenie powinno wytrzymać bez uszkodzeń przeprowadzaną próbę, a przy badaniu odporności powinno spełniać wymagania zawarte w normach wyrobu podczas trwania próby. Badania konstruktorskie poprzedzające badania końcowe pozwalają dobrać odpowiednie środki zapewniające spełnienie wymagań. Tak, jak w przypadku badań kompatybilności elektromagnetycznej, plan badań środowiskowych powinien być opracowany na podstawie norm przed badaniami konstruktorskimi.



Rys. 2. Laboratorium badań kabli i badań środowiskowych CBC EMAG [5]

6. BADANIA KONSTRUKTORSKIE ZWIĄZANE Z ISKROBEZPIECZEŃSTWEM

Wymagania dotyczące iskrobezpieczeństwa urządzeń automatyki określone są w normach:

- PN-EN 60079-0:2013. *Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania*,
- PN-EN 60079-11:2012. *Atmosfery wybuchowe – Część 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa „i”*.

Badań końcowych oraz analizy dokumentacji dokonuje jednostka certyfikująca i na ich podstawie wydaje certyfikat ATEX. Zakres tych badań może się bardzo różnić w zależności od wielu czynników, głównie zastosowanych rozwiązań i elementów. Badania są ściśle i szczegółowo zdefiniowane w rozdziałach norm PN-EN 60079-0 i PN-EN 60079-11, poświęconych tym czynnościom. Obejmują one bardzo szeroki zakres i pojedynczego urządzenia zwykle dotyczy tylko część z nich. Ponadto przy spełnieniu podanych w normie warunków w określonych przypadkach nie ma konieczności przeprowadzania niektórych badań.

Badania opisane w rozdziale 26. normy PN-EN 60079-0 mogą obejmować:

- badania obudowy (odporność na uderzenia, odporność na upadki, stopień ochrony IP),
- badania temperaturowe (pomiar temperatury, udar cieplny, badanie zapłonu spowodowanego przez małe elementy),
- badania niemetalicznych obudów lub niemetalicznych części obudów,
- badanie wytrzymałości termicznej na ciepło,
- badanie wytrzymałości termicznej na zimno,
- badanie odporności na światło,
- badanie odporności na czynniki chemiczne,
- badanie rezystancji powierzchniowej części obudów wykonanych z materiałów niemetalicznych,
- pomiar pojemności,
- badanie uszczelnień typu O-ring.

Badania opisane w rozdziale 10. normy PN-EN 60079-11 mogą obejmować:

- próbę zapłonu inicjowanego iskrami,
- badanie temperaturowe,
- próby wytrzymałości elektrycznej izolacji,
- wyznaczanie parametrów elementów nie w pełni określonych,
- próby ogni i baterii,
- próby mechaniczne,
- próby urządzeń zawierających elementy piezoelektryczne,
- badania typu diodowych barier ochronnych i boczników ochronnych,
- próbę wyciągania kabla lub przewodu,
- badania transformatora.

Badania konstruktorskie przeprowadzane są przed złożeniem dokumentacji i urządzenia w jednostce certyfikującej. Część badań jest możliwa do przeprowadzenia przy użyciu względnie prostych środków, jednak do przeprowadzenia niektórych z nich, na przykład badań zapłonu inicjowanego iskrami albo stopnia ochrony IP obudowy, niezbędne jest wyspecjalizowane zaplecze badawcze.

7. PODSUMOWANIE

Badania konstruktorskie nieodłącznie związane są z czasem i kosztami. Przeprowadzenie ich jest jednak niezbędne na wielu etapach projektu. W przypadku badań przeprowadzanych w celu przygotowania prototypu do badań końcowych ich zakres i liczba iteracji bardzo często związane są z przewidywaną skalą produkcji projektowanego urządzenia oraz optymalizacją kosztów. Przy produkcji jednostkowej albo małoseryjnej można dążyć do ograniczenia kosztów badań poprzez zastosowanie rozwiązań, które mogą być zbędne, ale dają dużą pewność spełnienia stawianych wymagań już przy pierwszych próbach. Wraz ze wzrostem skali produkcji zaczyna być bardziej opłacalne przeprowadzenie wielokrotnych, a zatem bardziej długotrwałych i kosztownych badań, które pozwolą dobrać rozwiązania minimalnym wyściskującym do tego celu nakładem środków technicznych, a tym samym obniżyć znacząco jednostkowy koszt urządzenia.



Rys. 3. Iskrobezpieczny przetwornik zbliżeniowy z wyjściem stykowym typu ICZ-1 – przykład urządzenia powstałego przy zastosowaniu opisanych badań (opracowanie własne)

Literatura

1. Molenda T., Chmielarz S.: *Iskrobezpieczeństwo a kompatybilność elektromagnetyczna – wybrane zagadnienia*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2012, nr 8, s. 19-25.
2. Strona internetowa <http://cbc.emag.pl/pl-PL/iec.html>.
3. Strona internetowa http://cbc.emag.pl/pl-PL/laboratorium_badan_kompatybilnosci_elektromagnetycznej EMC.html.
4. Strona internetowa http://cbc.emag.pl/pl-PL/badania_srodowiskowe.html.
5. Strona internetowa http://cbc.emag.pl/pl-PL/laboratorium_badan_kabli_i_badan_srodowiskowych.html.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.