

Grażyna OBER
Politechnika Śląska, Gliwice

ODPORNOŚĆ MOSTKOWYCH SYSTEMÓW POMIAROWYCH NA ZAKŁÓCENIA PRZEWODZONE, INDUKOWANE PRZEZ POLA ELEKTROMAGNETYCZNE O CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWEJ

Streszczenie. Artykuł przedstawia wyniki badań odporności mostkowego systemu pomiarowego na zakłócenia przewodzone, indukowane przez pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od strony zasilania oraz przez analogowe sygnały, przekazywane od sensora pomiarowego do układu mikroprocesorowego. Badaniom poddano zestaw pomiarowy, składający się z sensorów pomiarowych przemieszczeń, ciśnienia, przyspieszenia wraz z przetwornikiem pomiarowym *Spider8* firmy HBM. Wyniki badań zawarte w artykule wskazują na bardzo ograniczoną odporność systemu pomiarowego na zakłócenia przewodzone, indukowane przez pola elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej. Po zaniku zakłóceń system pomiarowy powraca samoczynnie do własności pomiarowych, zgodnych ze specyfikacją techniczną producenta.

IMMUNITY OF BRIDGE MEASURE SYSTEMS TO CONDUCTED DISTURBANCES INDUCED BY RADIO-FREQUENCY FIELDS

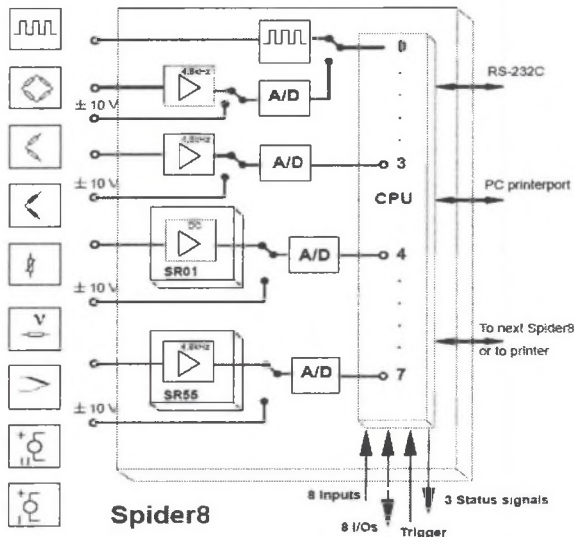
Summary. The paper presents the results of research on electromagnetic resistance of bridge measure systems conducted disturbances, induced by radio-frequency fields to disturbances coming from the power supply and through the analog signals from a measure sensor to a microprocessor system. A measure system - consisting of a displacement measure sensor, pressure and acceleration sensors with a measure converter *Spider8* by HBM - has been tested. The results presented in this paper show that the measure system resistance to electromagnetic disturbances caused by conducted disturbances induced by radio-frequency fields is very limited. When the disturbances are terminated the measure qualities described in a technical specification of the system return.

1. Wprowadzenie

Pomiary eksploatacyjne i laboratoryjne parametrów obudów zmechanizowanych realizowane są obecnie przez mikroprocesorowe systemy pomiarowe. Metodyka pomiaru bazuje na tradycyjnych układach mostkowych [4] w wykonaniu pełnego lub połowy mostka pomiarowego, znanych z techniki analogowej. Obecne systemy cyfrowe wykorzystują sygnał analogowy z układu mostkowego po jego konwersji w układzie A/C. Badany system pomiarowy składa się z mostkowego sensora pomiarowego, odpowiedniej wielkości mechanicznej, oraz mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego. Przesyłany sygnał analogowy jest poddawany w zależności od środowiska pomiarowego, różnego rodzaju zakłóceniom elektromagnetycznym. Zakłócenia te w sposób istotny wpływają na wiarygodność otrzymanych pomiarów. W pracy poddano badaniom dwa rodzaje sensorów:

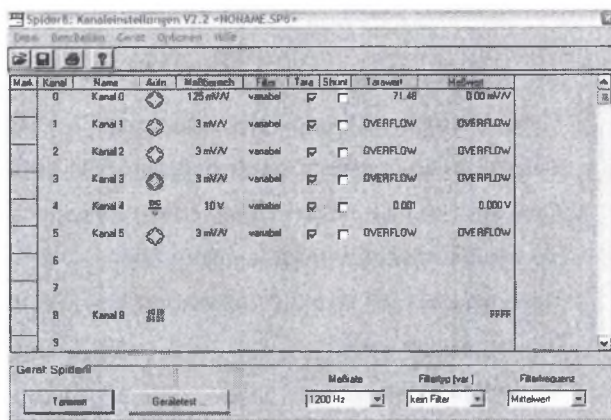
- ciśnienia (Absolute pressure transducer P3MB),
- przemieszczeń (Inductive displacement transducer WA100).

Jako przetwornik pomiarowy dla sygnałów z sensorów wykorzystano wielokanałowy system pomiarowy *Spider8*. Producentem sensorów i przetwornika *Spider8* jest firma Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH [1]. Strukturę mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego przedstawia rys.1.



Rys. 1. Schemat strukturalny systemu pomiarowego *Spider8* firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH
 Fig. 1. Diagrammatic view of measurement system *Spider8* firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

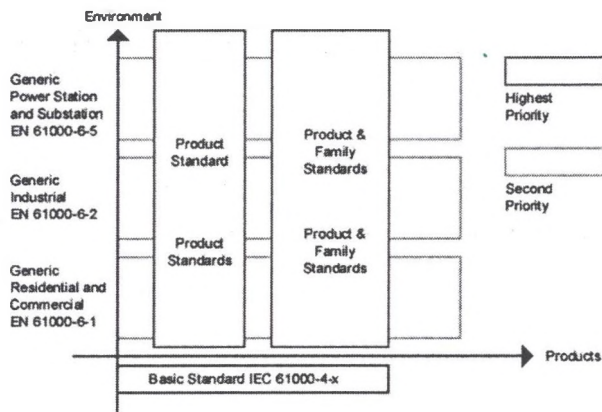
Poszczególne kanały pomiarowe mogą współpracować z dowolnymi sensorami jako: układy mostkowe, termoparowe, pomiary oporności, napięć, prądów. Dostępne w badanym systemie wejścia pomiarowe przedstawia rys. 2, będący zrzutem ekranowym programu konfigurującego system *Spider8*.



Rys. 2. Program konfigurujący wejścia pomiarowe systemu *Spider8*
Fig. 2. Setup program for system *Spider8*

2. Środowisko pracy systemu pomiarowego

Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej każde urządzenie pomiarowe zbudowane na bazie mikroprocesorów musi spełniać szereg norm środowiskowych, podstawowych oraz danej rodziny produktów. Pełne zestawienie norm i zależności między nimi przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Zestawienie norm Unii Europejskiej dla certyfikacji CE
Fig. 3. European Norm Standard for CE

Podstawowe wymagania określają tak zwane normy środowiskowe (Generic), określające warunki zastosowania danego urządzenia. Definiowane jest środowisko domowo-biurowe EN 61000-6-1 i środowisko przemysłowe EN 61000-6-2 [2]. Zgodnie z tymi wymaganiami urządzenia muszą być odporne na zakłócenia elektromagnetyczne, zdefiniowane w normie Basic Standard EN 61000-4-x.

- EN 61000-4-2 Electrostatic discharge immunity test
Odporność na wyładowania elektrostatyczne
- EN 61000-4-3 Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test
Odporność na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej
- EN 61000-4-4 Electrical fast transient/burst immunity test
Odporność na serię szybkich elektrycznych stanów przejściowych
- EN 61000-4-5 Surge immunity test
Odporność na udary
- EN 61000-4-6 Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
Odporność na zaburzenia przewodzone indukowane przez pola o częstotliwości radiowej
- EN 61000-4-8 Power frequency magnetic field immunity test
Odporność na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej
- EN 61000-4-11 Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests
Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia

Spełnienie wymagań, zawartych w powyższych normach kompatybilności elektromagnetycznej, gwarantuje poprawność wyników pomiarowych w zależności od przyjętego środowiska pracy.

Wykonane uprzednio badania, których wyniki przedstawiono w pracy [3], obejmowały odporność, zgodnie z EN 61000-4-4 (Electrical fast transient/burst immunity test), na serię szybkich, elektrycznych stanów przejściowych i istotne zmiany wielkości pomiarowej łącznie z przekroczeniami zakresu pomiarowego. Zakłócenia wielkości pomiarowej występowały jedynie podczas generowania zakłóceń. Po ustąpieniu zakłóceń system samoczynnie powracał

do poprawnej wartości mierzonego parametru, w zależności od rodzaju sensora pomiarowego. Podczas badania sygnał zakłócający zawiera szerokie spektrum częstotliwości, dochodzące do 300 MHz. Badanie to nie daje jednak odpowiedzi na pytanie, jakie częstotliwości są niebezpieczne dla poprawnej pracy systemu pomiarowego?

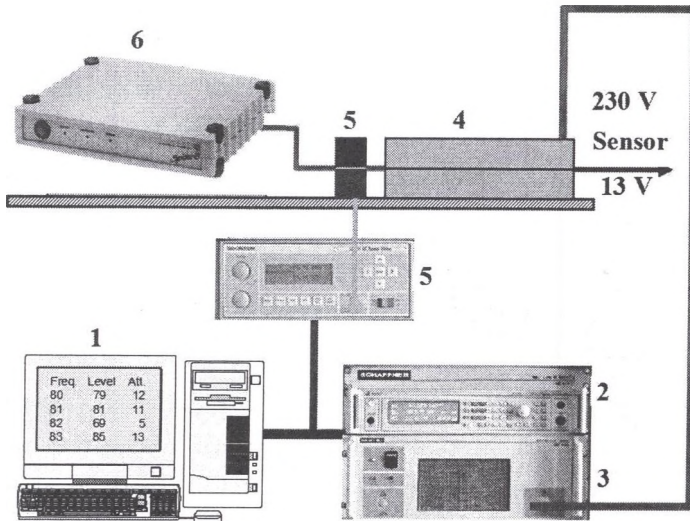
Odpowiedź na tak postawione pytanie dają badania kompatybilności elektromagnetycznej, zgodne z normą EN 61000-4-6. Norma przewiduje badanie napięciem zakłócającym na poziomie 3 V dla urządzeń domowo-biurowych oraz napięciem 10 V dla urządzeń przemysłowych, w zakresie częstotliwości od 150 KHz do 150 MHz. Podawana częstotliwość jest modulowana amplitudowo (AM) częstotliwością 1 KHz, przy głębokości modulacji 80%. Wartość górnej częstotliwości 150 MHz ulega ciąglemu zwiększaniu, obecnie do 1 GHz, a w najbliższych latach do 4 GHz. Wzrost tych wymagań wynika z powszechnego zastosowania telefonów komórkowych, zwiększenia częstotliwości pracy komputerów, zastosowań komputerowych sieci bezprzewodowych itp. Wojskowe normy w tym zakresie przewidują napięcia 1-4 kV i częstotliwości od DC do 40 GHz.

3. Stanowisko badawcze odporności elektromagnetycznej

Badania systemu pomiarowego *Spider8* firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, wraz z sensorami pomiarowymi ciśnienia P3MB i przemieszczeń WA100, przeprowadzono w Laboratorium EMC Instytutu Informatyki Politechniki Śląskiej. Stanowisko badawcze składa się z następujących układów:

- komputer klasy PC sterujący wszystkimi elementami stanowiska badawczego (1),
- generator sygnałowy SML firmy R&S (2),
- wzmacniacz SMX-25 firmy INSTRUMENTS FOR INDUSTRY INC, USA (3),
- cęgi sprzęgające KEMZ 801 firmy Schaffner, służące do wstrzykiwania zaburzeń (4),
- układ kalibrujący i pomiarowy napięcia wstrzykiwanego, firmy R&S (5).

Stanowisko pozwala prowadzić badania dla częstotliwości od 10 KHz do 1 GHz z modulacją AM 1 KHz i 80% głębokością modulacji dla napięcia od 0V do 30 V napięcia wstrzykiwanego, zgodnie z normą EN 61000-4-6. Badany system pomiarowy *Spider8* (6) został uziemiony na stanowisku badawczym do uziomu o oporności lepszej od 1 Ω . Rysunek 4 przedstawia schemat stanowiska. Oznaczenia numerów z tekstu są zgodne z numeracją elementów stanowiska przedstawionego na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego zgodnie z normą EN 61000-4-6
Fig. 4. Diagrammatic view of test system norm EN 61000-4-6

System komputerowy (1) podaje do generatora sygnału (2) zadaną wartość częstotliwości i wartość amplitudy, zgodnie z krzywą kalibracyjną systemu. Następnie wygenerowana częstotliwość przekazywana jest do wzmacniacza (3) i kolejno na cęgi sprzęgające (4). Przekazane na cęgi sprzęgające zakłócenie, indukcyjnie, pojemnościowo przekazywane jest do aktualnie znajdującego się w cęgach przewodu podłączonego do badanego systemu. Podawane na cęgi sprzęgające zakłócenie utrzymuje się przez okres 2 sekund, następnie komputer sterujący podnosi krokowo częstotliwość zakłócenia do końca badanego zakresu częstotliwości.

4. Wyniki badań

Badania systemu pomiarowego *Spider8* przeprowadzono dla następujących konfiguracji połączeń kablowych pomiędzy elementami systemu:

- kabel łączący czujnik przemieszczeń (Inductive displacement transducer WA100) z przetwornikiem pomiarowym,
- kabel łączący czujnik ciśnienia (Absolute pressure transducer P3MB) z przetwornikiem pomiarowym,
- kabel zasilający 13 V, łączący zasilacz z przetwornikiem pomiarowym,
- kabel zasilający 230 V, podłączony do zasilacza.

Badania przeprowadzono od częstotliwości 10 KHz do częstotliwości powodującej pełne zakłócenie systemu pomiarowego (brak stabilności systemu pomiarowego „overflow”).

Wstępnie do badań przyjęto wartość zakłócenia na poziomie 3 V, odpowiadającą normie dla urządzeń domowo-biurowych. Przyjęcie progu napięcia 10 V, zgodnie z wymaganiami dla urządzeń przemysłowych w świetle poprzednich badań [3], było niecelowe. Przeprowadzono natomiast badania dla niższych wartości napięcia.

Badania kabla łączącego czujnik przemieszczeń (Inductive displacement transducer WA100) z przetwornikiem pomiarowym do częstotliwości 800 KHz wykazały poprawną pracę systemu pomiarowego, powyżej 10% odchyłki, a przy częstotliwości 1 MHz brak stabilnej pracy „overflow”. Obniżenie wartości napięcia zakłócającego do poziomu 1 V przesunęło tę granicę do częstotliwości 2,8 MHz. Kolejne obniżenia napięcia do 0,5 V oznaczało próg niestabilnej pracy powyżej 4 MHz. Badany czujnik przemieszczeń zachowywał się najgorzej, co można wytłumaczyć zastosowaniem połowy układu mostkowego. Jako zaletę należy podkreślić stabilność systemu, to znaczy po usunięciu oddziaływania zakłócenia system samoczynnie powraca do poprawnej wartości mierzonej.

Badania kabla łączącego czujnik ciśnienia (Absolute pressure transducer P3MB) z przetwornikiem pomiarowym wykazały podobne zachowanie jak dla czujnika przemieszczeń. Granice wystąpienia niestabilności pracy wystąpiły odpowiednio dla napięcia zakłócającego 3 V – 1,8 MHz, dla 1 V – 3,2 MHz, i dla 0,5 V – 4,7 MHz. Dwukrotna poprawa zakresu częstotliwości stabilnej pracy systemu pomiarowego wynika z zastosowania w czujniku ciśnienia pełnego układu mostkowego, który lepiej kompensuje wpływ zakłóceń pojawiających się na kablu łączącym układ mostkowy z przetwornikiem.

Wprowadzenie zakłóceń do kabla zasilającego 13 V, łączącego zasilacz z przetwornikiem pomiarowym, wykazało również przewagę pełnego mostka w czujniku ciśnienia, a niestabilność toru pomiarowego ciśnienia wystąpiła dopiero dla częstotliwości zakłócającej 10 MHz i wartości napięcia 3 V, natomiast próg niestabilności dla niepełnego układu mostkowego, tor pomiaru przemieszczeń, wystąpił już przy częstotliwości 3,8 MHz i napięciu 3 Volt. Przy wyłączeniu zakłóceń system powracał do prawidłowych wartości pomiarowych.

Badaniom poddano również kabel zasilający 230 V, wprowadzając, jak poprzednio, zakłócenia na poziomie 3 V i podanym zakresie częstotliwości. Próg niestabilności toru pomiarowego ciśnienia wynosił 10,2 MHz (pełny mostek pomiarowy) i 4,7 MHz dla toru pomiaru przemieszczeń (połowa mostka pomiarowego). Z badań wynika, że zasilacz dla

zakłóceń propagowanych po zasilaniu 230 V nie spełnia dla wyższych częstotliwości swojego zadania.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania odporności elektromagnetycznej na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej wykazały niewielką odporność systemu pomiarowego *Spider8*, w połączeniu z testowanymi sensorami pomiarowymi ciśnienia i wydłużenia. Wstrzykiwano zakłócenia zgodnie z normą EN 61000-4-6 i powodowały one istotne zmiany wielkości pomiarowej, łącznie z niestabilną pracą i przekroczeniem zakresu pomiarowego dla częstotliwości większych od 1MHz. Powyżej tej częstotliwości system pomiarowy nie spełnia wymagań stawianych urządzeniom do użytku domowo-biurowego.

Czujniki pomiarowe w wykonaniu pełnego mostka posiadają dwukrotnie wyższą częstotliwość wystąpienia niestabilnej pracy. Zakłócenia wielkości pomiarowej występowały jedynie podczas generowania zakłóceń. Po ustąpieniu zakłóceń system samoczynnie powracał do poprawnej wartości mierzonego parametru w zależności od rodzaju sensora pomiarowego. Należy zauważyć, iż analogowy przesył sygnału od mostkowego czujnika pomiarowego nie jest w stanie spełnić obecnie stawianych wymagań odporności na zakłócenia. Rozwiązaniem tego problemu jest realizacja cyfrowego przesyłu wartości pomiarowej z czujnika do przetwornika pomiarowego.

Zastosowanie badanego systemu jest najkorzystniejsze w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, zapewniających powyższe ograniczenia. Istniejące wyposażenie techniczne w tych środowiskach generujące zakłócenia, zgodnie z normami emisyjności EN 61000-6-3 dla środowiska domowo-biurowego i EN 61000-6-4 dla środowiska przemysłowego, wymaga szczególnej uwagi na zakłócenia, mogące spowodować nieprawidłową pracę systemu pomiarowego.

Przeprowadzenie badań, zgodnie EN 61000-4-3 (odporność na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej), pozwoli w przyszłości na określenie częstotliwości szczególnie niebezpiecznych dla systemu mikroprocesorowego przetwornika pomiarowego *Spider8*.

LITERATURA

1. Materiały pomocnicze i dokumentacje systemu pomiarowego *Spider8* firmy Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
2. Norma Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), nr ref. PN-EN 61000-4-6 PKN 2003.
3. Ober G.: Odporność elektromagnetyczna mostkowych systemów pomiarowych na serię szybkich elektrycznych stanów przejściowych (transient/burst). Materiały V Międzynarodowej Konferencji Zastosowania Mechaniki w Górnictwie, 2005.
4. Łapiński M.: Pomiary elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych. WNT, Warszawa 1974.

Recenzent: Dr hab. inż. Zygmunt Wróbel, prof. nadzw. UŚ