

Ryszard KOPKA*
Wiesław TARCZYŃSKI*

UKŁAD I SPOSÓB POMIARU SKUTECZNOŚCI EKRANOWANIA ZŁĄCZ TELEINFORMATYCZNYCH

Przedmiotem referatu jest układ i sposób do pomiaru wartości względnej współczynnika skuteczności ekranowania złączy teleinformatycznych stosowanych w układach automatyki do przesyłu sygnałów analogowych i dwustanowych między systemami automatyki a różnego rodzaju czujnikami pomiarowymi. Opisano sposób pomiaru skuteczności ekranowania kabli i złączy poprzez pomiar poziomu sygnału przenikającego między elementem promieniującym, a przewodami wewnętrznymi złącza. Opisany układ pomiarowy jest tak skonstruowany, aby zminimalizować przenikanie sygnału drogą poprzez wolną przestrzeń czyli poza strefą pomiaru. Uzyskuje się to przez wprowadzenie do konstrukcji dodatkowych ekranów. Układ pomiarowy może być szczególnie przydatny w czasie kontroli procesu produkcyjnego oraz w czasie opracowywania nowych konstrukcji. Przedstawiono budowę układu pomiarowego, sposób prowadzenia pomiarów i przykładowe wyniki.

SŁOWA KLUCZOWE: złącze, ekran, kable współosiowe, skuteczność ekranowania

1. WPROWADZENIE

Rozwój systemów łączności przewodowej i bezprzewodowej, systemów informatycznych, systemów automatyki oraz urządzeń elektroenergetycznych wymusza spełnienie coraz wyższych wymagań dla urządzeń elektronicznych w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej. Spowodowane jest to wzrostem liczby urządzeń wytwarzających pole elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości począwszy od dziesiątków herców, a skończywszy na zakresie kilkunastu gigaherców. Dla zapewnienia poprawnej pracy urządzeń elektronicznych narażonych na działanie niepożądanych pól elektromagnetycznych wprowadza się między innymi ochronę w postaci ekranów.

We wszystkich systemach teleinformatycznych, ochroną przed przenikaniem zakłóceń w zakresie dużych i bardzo dużych częstotliwości, muszą być również objęte linie sygnałowe oraz złącza.

* Politechnika Opolska.

Jednym ze sposobów ochrony sygnałów przesyłanych kablami i złączami przed wpływem zakłóceń zewnętrznych jest ekranowanie, które powinno obejmować zarówno przewody kabla jak i elementy samego złącza.

Własności ekranu są zależne od konstrukcji samego ekranu (folia metalowa, oplót z drutu miedzianego) oraz rodzaju zastosowanego materiału (miedź, aluminium, itp.). Szczególnie ważny jest sposób wykonania połączenia ekranu kabla oraz ekranu złącza w obrębie samego złącza. Jest to trudne konstrukcyjnie, a szczególnie w złączach, które są często złączane i rozłączane oraz pracujące w warunkach zmieniających się obciążeń mechanicznych [2, 3, 4].

Podstawową miarą określającą jakość ekranu obejmującego przewody kabla oraz złącza jest tzw. skuteczność ekranowania, która jest definiowana jako stosunek poziom sygnału wyindukowanego w przewodach kabla oraz złącza, do poziomu sygnału padającego na złącze i kabel [1, 4].

W literaturze opisanych jest wiele układów i sposobów wykonywania pomiarów skuteczności ekranowania złącz wraz z przewodami wyprowadzającymi [2, 6, 9]. Główną wadą większości tych układów i sposobów jest stosowanie jako elementu promieniującego przewodu giętkiego mocowanego wzdłuż osi przewodów i złącza. Taka konstrukcja układu pomiarowego skutkuje niską powtarzalność warunków pomiaru. Kolejną wadą jest to, że przewody poza złączem widzą się, co jest kolejnym źródłem błędu pomiaru, gdyż sygnał pomiarowy, szczególnie w zakresie bardzo dużych częstotliwości, przenika od źródła sygnału do wejścia urządzenia pomiarowego, poza strefą pomiaru.

Zapewnienie kontrolowanej powtarzalności warunków pomiaru ma szczególnie duże znaczenia w przypadku wykonywania pomiarów kontrolnych na etapie projektowania i wykonywania prototypu złącza, gdy zachodzi potrzeba bieżącej kontroli wpływu zmian konstrukcyjnych na jego własności.

2. UKŁADY I SPOSOBY POMIARU SKUTECZNOŚCI EKRANOWANIA

Podstawowe parametry stosowane do oceny jakości ekranu złącza wraz z wyprowadzeniami kablowymi to: skuteczność ekranowania (SE), impedancja przejścia (Z_T) oraz elementy macierzy rozproszenia (S). Stosowane parametry i sposoby ich pomiaru zostały określone dla zakresu częstotliwości, dla których wymiary złącza i wyprowadzeń kablowych są dużo mniejsze od długości fali sygnału testującego [2, 6, 7, 8].

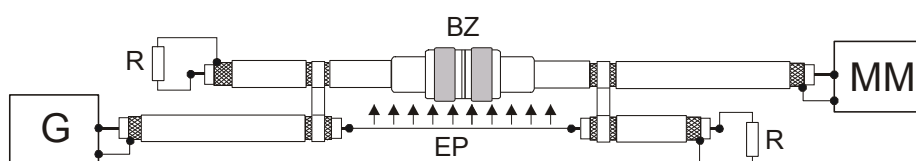
Skuteczność ekranowania SE definiowana jest jako stosunek wartości sygnału przechodzącego przez ekran do wartości sygnału padającego na ten ekran.

Poziom sygnału może być wyrażony poprzez wartość natężenia pola elektrycznego, pola magnetycznego lub poprzez gęstość mocy. W przypadku oceny ekranu w oparciu o pomiar natężenie pola elektrycznego, skuteczność ekranowania opisana będzie zależnością

$$SE = 20 \log_{10} (E_T/E_I) \text{ [dB]}, \quad (1)$$

gdzie E_I jest natężeniem pola elektrycznego otaczającego element badany, a E_T jest wartością pola w przestrzeni między przewodem wewnętrznym a ekranem.

Pomiar skuteczności ekranowania kabli i złącz zgodnie z definicją (1) jest trudny do przeprowadzenia, gdyż wymagałby wykonania pomiaru natężenia pola elektrycznego między ekranem, a przewodem wewnętrznym. Dlatego skuteczność ekranowania wyznaczana według tej definicji nadaje się przede wszystkim do określenia własności ekranów płaskich.



Rys. 1. Ilustracja pomiaru współczynnika SE poprzez pomiar mocy sygnału; G – generator sygnału testującego, BZ – złącze badane, R – rezystor obciążający, EP – element promieniujący, MM – miernik mocy

W praktyce do oceny skuteczności ekranowania kabla i złącza wykorzystuje się metodę będącą modyfikacją układu i sposobu z rys. 1, a mianowicie wykonuje się pomiar mocy sygnału wyindukowanego w przewodach wewnętrznych kabla i złącza P_T oraz mocy dostarczonej z generatora P_G do elementu promieniującego EP wytwarzającego pole elektromagnetyczne w bezpośredniej bliskości badanych kabli i złącza BZ. Końce kabli obciążone są rezystorami R o wartości zapewniającej dopasowanie falowe. Skuteczność ekranowania SE wyznaczana w takim układzie pomiarowym, będzie określona zależnością

$$\alpha_{SE} = 10 \log_{10} (P_T/P_G) \text{ [dB]}. \quad (2)$$

Jeżeli założy się, że spełnione są warunki dopasowania falowego między generatorem G i kablem oraz miernikiem mocy MM wyjściowej i kablem doprowadzającym sygnał, to przy zastosowaniu skali decybelowej i wyrażeniu wartości mocy w dB względem mW, można przyjąć że skuteczność ekranowania będzie określona zależnością

$$\alpha_{SE} \approx P_T(\text{dBm}) - P_G(\text{dBm}) \text{ [dB]}. \quad (3)$$

Sposób pomiaru według tej metody przedstawiony jest na rys. 1. Metoda ta ma jednak wadę, gdyż trudno jest dokładnie określić jaka część mocy sygnału podawanego z generatora przechodzi przez badany obszar, a jaka jest stracona w kablach doprowadzających sygnał, ulega rozproszeniu na połączeniach, niedopasowaniach itp. Ponadto liczne pomiary wykazały, że wzajemne ułożenie badanego kabla i złącza i elementu promieniującego oraz dodatkowo ich wspólne ułożenie względem otoczenia, mają duży wpływ na wynik pomiaru.

Dlatego mowa tutaj o względnej wartości współczynnika skuteczności ekranowania.

Brak jednoznacznie sprecyzowanego ułożenia elementu promieniującego, warunków wykonywania pomiaru powoduje, że otrzymane wyniki są nieporównywalne między sobą i tym samym uniemożliwiają ocenę rzeczywistych własności ekranowania. Natomiast zaletą tej metody jest możliwość wykonywania pomiarów w nieskomplikowanym układzie, stosowania prostego oprzyrządowania i dlatego jest ona preferowana do stosowania przy ocenie zmian własności złącz i kabli na etapie opracowywania nowych konstrukcji lub w procesie kontroli jakości produkcji seryjnej.

Ocenę własności ekranu poprzez pomiar elementów macierzy rozproszenia S , wykonuje się przy użyciu fali napięciowej jako stosunek fali padającej V^+ na zaciski układu do fali napięciowej wypływającej V^- od strony zacisków. Pomiar wykonuje się w układzie analogicznym jak przedstawiony na rys. 1, ale przy zastosowaniu do pomiaru miernika elementów macierzy rozproszenia S . Wartości elementów macierzy S określone są zależnością

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Wartość skuteczności ekranowania kabla i złącza określona jest w tym przypadku przez wartość współczynnika S_{21} lub S_{12} .

Do pomiaru wartości elementów najlepiej stosować przyrząd, który automatycznie wykonuje pomiar amplitudy fali padającej i odbitej dla poszczególnych zacisków układu i na tej podstawie wylicza wartości elementów macierzy S .

W poprawnie zestawionym układzie pomiarowym powinno się otrzymać wartości spełniające relacje: $S_{11} = S_{22} = 0$, oraz $S_{21} = S_{12}$. Wartość elementów $S_{11} = 0$ oraz $S_{22} = 0$ oznacza dopasowanie falowe na zaciskach wejściowych i wyjściowych, a warunek $S_{21} = S_{12}$ oznacza, że układ jest bezkierunkowy. Przy idealnym ekranowaniu wartość współczynników S_{12} i S_{21} powinny być równe zero.

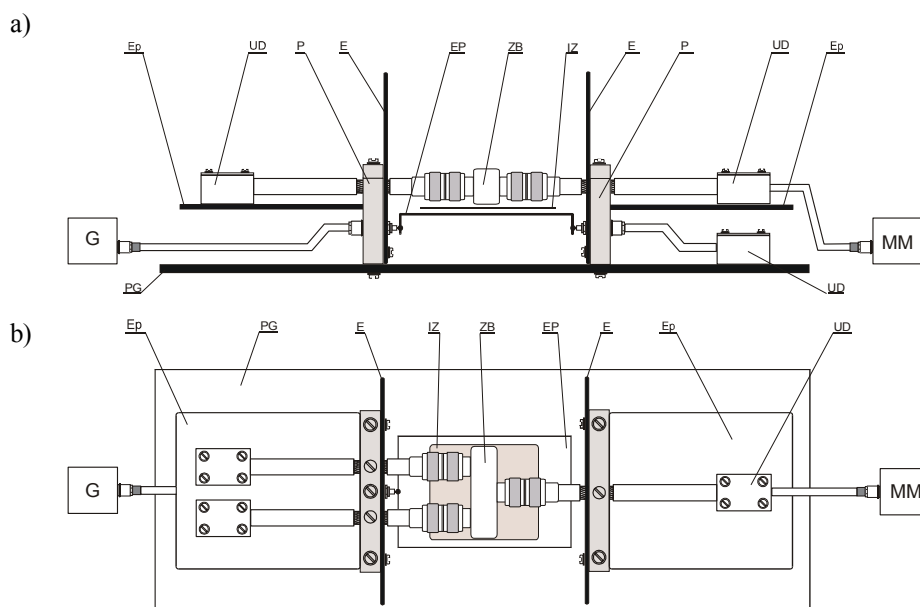
Własności ekranu oceniane są również przez impedancję przejścia Z_T , która definiowana jest jako stosunek spadku napięcia U na długości ekranu L , do wartości prądu I , który ten spadek spowodował i jest przeliczona na jednostkę długości [3]. Pomiar skuteczności ekranowania według tej definicji praktycznie nie nadaje się do badania złącz i kabli, w których ekrany nie łączą się galwanicznie.

Ze względu na sposób pomiaru impedancji Z_T parametr ten nie będzie zastosowany do oceny jakości ekranowania.

3. BUDOWA UKŁADU POMIAROWEGO

Przy konstrukcji układu pomiarowego kierowano się w głównej mierze zaleceniami zawartymi w normie [9]. Schemat budowy układu przedstawiony jest na rys. 2, przy czym rys. 2a przedstawia widok boczny, a rys. 2b widok z góry.

Układ przeznaczony jest do pomiaru przenikania sygnałów przez złącze teleinformatyczne i jego okablowania w trójnikach i w zakresie częstotliwości od kilku kiloherców do pojedynczych gigaherców.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego; a) – widok z boku, b) – widok z góry [5]

Podstawową zaletą układu pomiarowego o takiej konstrukcji jak przedstawiono na rys. 2 jest zapewnienie dużej stabilności i powtarzalności mocowania badanego złącza wraz z okablowaniem na czas wykonywania pomiarów. Jest to szczególnie istotne przy wykonywaniu pomiarów dużej liczby złącz tego samego typu, których celem jest kontrola jakości złącza i okablowania w czasie opracowywania nowych konstrukcji oraz w przypadku wykonywania pomiarów kontrolnych w czasie produkcji seryjnej.

Układ pomiarowy składa się z dwóch podpór P, które przymocowane są śrubami do podstawy głównej PG. Zadaniem podstawy głównej PG jest zapewnienie sztywności całego układu pomiarowego, zapewnienie stałych odstępów między elementami układu pomiarowego oraz uniezależnienie się od wpływu otoczenia, a szczególnie podłoża. Do podpór P przymocowane są dodatkowo dwa pionowe

ekrany E, których zadaniem jest oddzielenie dla sygnałów w.cz. obszaru strony generatora G i obszaru strony przyrządu pomiarowego MM od strefy pomiaru złącza BZ. Oddzielenie ekranami E tych obszarów zmniejsza przenikanie niepożądanych sygnałów w.cz. poprzez wolną przestrzeń, jednocześnie zapewnia jednoznaczne wydzielenie strefy pomiarowej złącza BZ i jego okablowania.

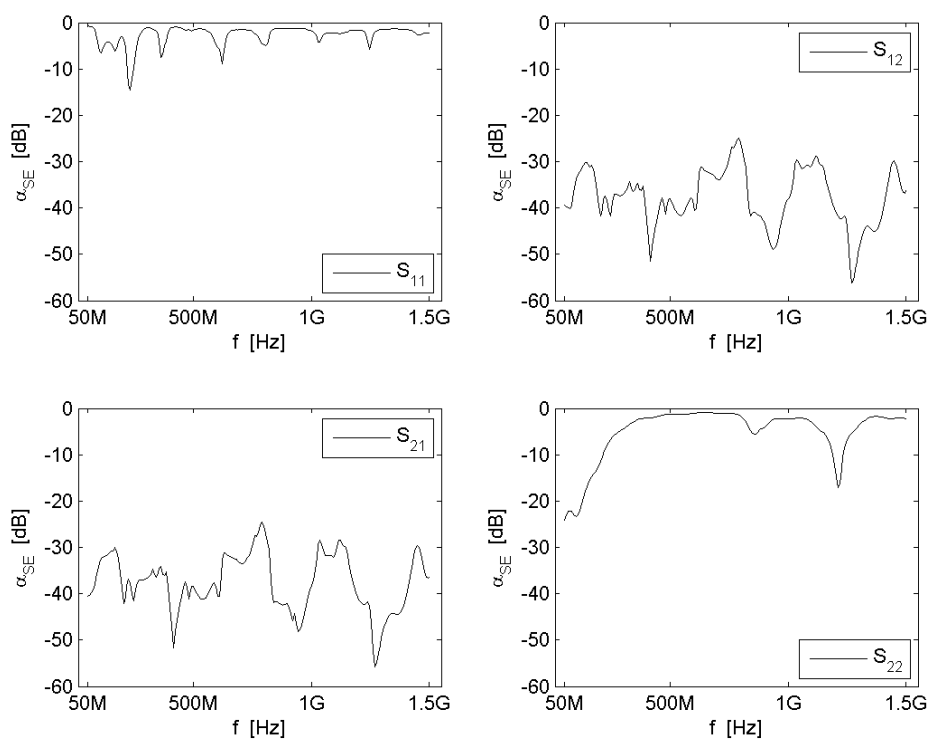
Badane złącze trójkątowe BZ wraz z okablowaniem zamocowane jest na podporach P. W górnej części podpór wykonane są wnęki na każdy kabel wyprowadzający. Na każdą podporę w górnej części nałożona jest poprzeczka, która jest przymocowana do podpór P śrubami. Na kablach wyprowadzających po obu stronach badanego złącza BZ w miejscu ich osadzenia we wnęcie podpory usuwana jest, na długości około 1 cm, izolacja zewnętrzna aż do poziomu przewodu ekranu. W poprzeczce w miejscu nad wnęką znajduje się śruba dociskowa, zadaniem której jest dociśnięcie do podpory P na czas pomiaru przewodu ekranu kabla. Pod wnęką P w każdej podporze znajduje się otwór, w którym zainstalowane jest złącze współosiowe. Od strony generatora kablem współosiowym doprowadzany jest sygnał do elementu promieniującego EP, a do złącza współosiowego od drugiej strony układu pomiarowego, dołączany jest krótki kabel koncentryczny zakończony układem dopasowującym UD. Układy dopasowujące UD zbudowane są w formie wnęki wykonanej z metalu i zamknięte pokrywą. We wnętrzu zainstalowane są rezystory o wartości rezystancji zapewniającej dopasowanie falowe.

Poza strefą pomiaru między kablami złącza oraz kablami łączącymi układ z generatorem G oraz z miernikiem mocy MM wprowadzono dodatkowe ekrany poziome Ep oddzielające mające na celu zminimalizowanie ewentualnego przenikania sygnałów między obwodem generatora, a obwodem układu pomiarowego.

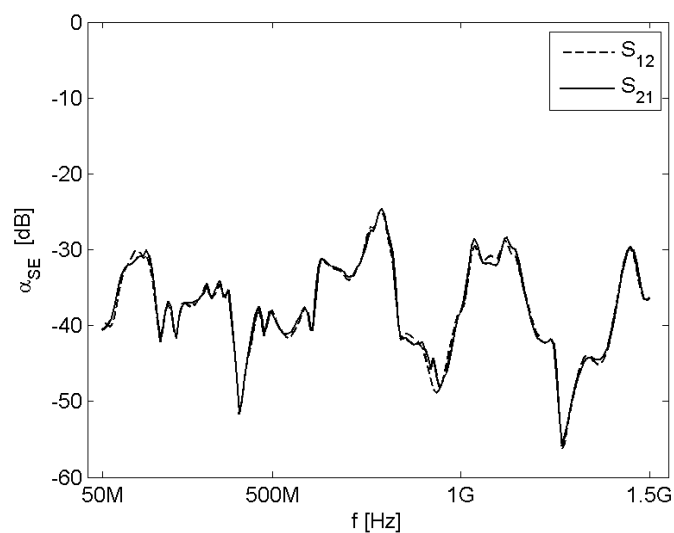
Badane złącze BZ wraz z kablami umieszczane jest między podporami P na wysokości około 4 cm nad podstawą główną PG. Do przewodów złącz współosiowych zamocowany jest element promieniujący EP wykonany z blachy miedzianej. W przypadku, gdy złącze wykonane jest z metalu w celu zapewnienia separacji galwanicznej między złączem BZ, a elementem promieniującym EP wstawiona jest cienka izolacja IZ.

4. WYNIKI POMIARÓW

Pomiary zostały wykonane w układzie przedstawionym na rys. 2. Jako źródło sygnału oraz miernik mocy wykorzystano wektorowy analizator obwodów. Badania przeprowadzono w zakresie częstotliwości od 50 MHz do 1,5 GHz, sygnałem o mocy $P_G = -10$ dBm. Jako wynik pomiaru zarejestrowano zależność w funkcji częstotliwości, wartości wszystkich elementów macierzy rozproszenia S (rys. 3).



Rys. 3. Wartości elementów macierzy S badanego trójnika w funkcji częstotliwości



Rys. 4. Porównanie wartości elementów macierzy S_{12} i S_{21} badanego trójnika w funkcji częstotliwości

Wartość zerowa współczynnika S_{11} oraz S_{22} świadczy o dobrym dopasowaniu elementów toru pomiarowego. Względna wartość współczynnika skuteczności ekranowania reprezentują wartości współczynnika S_{12} oraz S_{21} . W przypadku idealnym S_{12} jest równe S_{21} . Na rys. 4 przedstawiono wynik porównania wartości tych elementów uzyskane w pomiarach. Zgodność ich przebiegu również potwierdza poprawność układu pomiarowego oraz bezkierunkowość badanego elementu.

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono konstrukcję stanowiska do pomiaru względnego współczynnika skuteczności ekranowania trójników przeznaczonych do sieci przemysłowych. Głównym założeniem podczas jego budowy, było zapewnienie wysokiej powtarzalności i odtwarzalności procedury pomiarowej. Jest to szczególnie istotne podczas wykonywania pomiarów weryfikujących jakość procesu produkcyjnego lub wdrażanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych czy technologicznych. Zaprojektowane rozwiązanie, w stosunku do dotychczas stosowanych, pozwala na zminimalizowanie czynników losowych związanych z wielokrotnym montażem trójnika jak również ułożeniem elementu promieniującego. Wyznaczoną na stanowisku wartość współczynnika skuteczności ekranowania należy traktować jako wartość względną, wynikającą z konstrukcji i metodyki badań na tym właśnie stanowisku.

LITERATURA

- [1] David M., Pozar Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [2] Golio M., Golio J., RF and Microwave Passive and Active Technologies, Taylor & Francis Group, 2008.
- [3] Hoeft O. L., Transfer Impedance as a Measure of the Shielding Quality of Shielded Cables and Connectors, IEEE/EMC 2004 Symposium Workshop – Transfer Functions in EMC Shielding Design, 2004.
- [4] Kleine-Ostmann T., Münter K., Schrader T., A new shielding effectiveness measurement method based on a skin-effect transmission line coupler, *Advances in Radio Science*, 5, pp. 37–42, 2007.
- [5] Kopka R., W. Tarczyński, Układ do badania złączy teleinformatycznych z wyprowadzeniami kablowymi, zgłoszenie patentowe, P.410237.
- [6] Nowosielski L., Wnuk M., Przesmycki R., Piwowarczyk K., and Bugaj M, Coaxial Cables Shielding Efficiency Measuring Methodology, *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2012)*, KL, Malaysia, March 27–30, pp.72–76, 2012.
- [7] Qi Zhang, Li-Hua Shi, Ying Hui Zhou, Cheng Gao, and Yong Chao Guo, Measurement of the Shielding Effectiveness of Connector by Improved Triaxial Method, *Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2011)*, Suzhou, China, September 12-16, 2011, pp. 1334–1338, 2011.

- [8] Więckowski W. T., Janukiewicz M. J., Methods for Evaluating the Shielding Effectiveness of Textiles, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, January / December 2006, Vol. 14, No. 5 (59), pp. 18–22, 2006.
- [9] PN-EN 60512-23-3:2004 Podzespoły elektromechaniczne do urządzeń elektronicznych – Podstawowe procedury badań i metody pomiarów – Część 23-3: Badanie 23c: Skuteczność ekranowania złączy i akcesoriów.

SYSTEM AND METHOD FOR MEASURING OF SHIELDING EFFICIENCY FOR ICT CONNECTORS

In this paper a system and method for measuring of shielding efficiency for ICT systems is proposed in the context of their application to automation systems used for transmission analog and binary signals between automation systems and various kind of sensors. Method for measuring of wires and links shielding efficiency via measuring level of signal permeating from a transmitting /radiating element and wires inside the link. Structure of the measurement system was designed so that permeation of the signal over free space, out of the measurement zone, was minimised. This can be achieved via equipping the construction with additional shields. The measurement system can be especially useful during control / monitoring of a technological process or whilst designing new connectors. Furthermore, in this paper structure of the measurement system as well as method of conducting measurements and example results were also described.