

Aleksander ZATKA

Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej
Politechniki Śląskiej

K o m u n i k a t

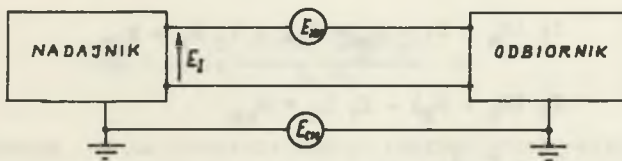
WYKORZYSTANIE EKRANU OCHRONNEGO WOLTOMIERZA CYFROWEGO

Streszczenie. Przedstawiono problem oddziaływania napięć zakłócających wspólnych na przetwornik analogowo-cyfrowy woltomierza. Przedyskutowano sposób polepszenia tłumienia zakłóceń wspólnych na drodze odpowiedniego wykorzystania ekranu ochronnego (ang. Guard) w różnych układach pomiarowych.

Przedstawiono sposób łączenia ekranu ochronnego z elementami przetworników pomiarowych - zilustrowany przykładami.

1. Wstęp

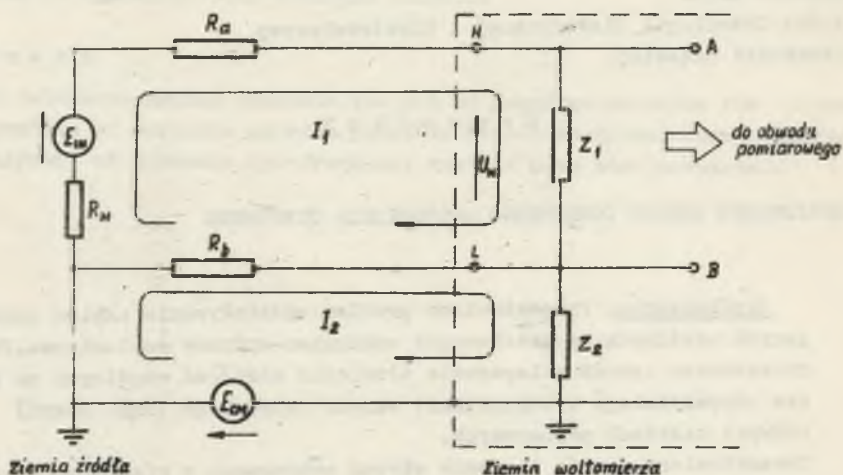
Pod względem sposobu oddziaływania na układ pomiarowy dowolnego przetwornika można rozróżnić napięcia zakłócające wspólne (Common-Mode) i napięcia zakłócające normalne (Normal-Mode, zwane też Series-Mode) [3]. Na rys. 1 przedstawiono schematycznie układ pomiarowy z uziemionym nadajnikiem i uziemionym odbiornikiem. W obwodzie pomiarowym napięcie zakłócające normalne E_{NM} sumuje się z sygnałem użytecznym nadajnika E_I , a napięcie zakłócające wspólne E_{CM} oddziałuje na oba zaciski wejściowe odbiornika.



Rys. 1. Napięcia zakłócające wspólne i normalne na wejściu przetwornika pomiarowego

W komunikacie przedstawiono celowe połączenie ekranu ochronnego zapewniające możliwości wykorzystania ekranu ochronnego w celu tłumienia zakłóceń wspólnych, działających na część analogową woltomierza cyfrowego.

Na rys. 2 przedstawiono schemat prostego układu pomiarowego, w którym E_{IN} ($E_{IN} = E_I + E_{NM}$) oznacza uziemione źródło mierzonego sygnału wraz z



Rys. 2. Układ pomiarowy z napięciem zakłóceń wspólnych

napięciem zakłóceń normalnych, natomiast E_{CM} oznacza napięcie zakłóceń wspólnych o dwóch składowych: stałej i zmiennej. Przez R_a i R_b oznaczono rezystancje przewodów o wysokim (H) i niskim (L) potencjale, a przez R_w rezystancję wewnętrzną źródła E_{IN} . Impedancje Z_1 i Z_2 stanowią kolejno: impedancję wejściową przetwornika analogowo-cyfrowego woltczymierza oraz upływność między wejściem (L) a punktem uziemienia. I_{CM} jest prądem zakłóceń wspólnych.

Układ pomiarowy przedstawiony na rys. 2 można opisać następującymi równaniami:

$$I_1 (R_a + Z_1 + R_w + R_b) - I_2 R_b = E_{IN} \quad (1)$$

$$I_2 (R_b + Z_2) - I_1 R_b = E_{CM} \quad (2)$$

$$U_w = I_1 Z_1 \quad (3)$$

Zakłada się, że impedancja między zaciskami A i B jest nieskończenie duża. Rozwiązując układ równań (1), (2) i (3) otrzymuje się zależność określającą napięcie wejściowe:

$$U_w = Z_1 \frac{R_b E_{CM} + E_{IN} (R_b + Z_2)}{R_b (R_a + Z_1 + R_w) + Z_2 (R_a + Z_1 + R_w + R_b)} \quad (4)$$

Ze wzoru (4) można wyliczyć $\Delta U_w = f(E_{CM}, R_a, R_b, Z_1, Z_2, R_w)$, stanowiące składnik napięcia wejściowego, spowodowany zakłóceniami wspólnymi E_{CM} , w postaci

$$\Delta U_w = Z_1 \frac{R_b E_{CM}}{R_b (R_a + R_w + Z_1) + Z_2 (R_a + R_b + R_w + Z_1)} \quad (5)$$

Obliczając ze wzoru (5) stosunek napięcia zakłócającego do ΔU_w , otrzymuje się zależność

$$\frac{E_{CM}}{\Delta U_w} = \frac{R_b (R_a + Z_1 + R_w) + Z_2 (R_a + Z_1 + R_w + R_b)}{Z_1 R_b} \quad (6)$$

Biorąc pod uwagę, że rezystancje R_a i R_b są pomijalnie małe w porównaniu z pozostałymi impedencjami, oblicza się

$$\frac{E_{CM}}{\Delta U_w} = \frac{(Z_1 + R_w)(Z_2 + R_b)}{Z_1 R_b} \quad (7)$$

Tłumienie napięć zakłócających wspólnych CMR (Common Mode Rejection) definiuje się wg pracy [4]

$$CMR = 20 \lg \frac{E_{CM}}{\Delta U_w} \quad \text{dB} \quad (8)$$

Dla układu pomiarowego z rys. 2 tłumienie napięć zakłócających wspólnych na podstawie wzorów (8) i (7) wynosi:

$$CMR = 20 \lg \frac{(Z_1 + R_w)(R_b + Z_2)}{Z_1 R_b} \quad \text{dB} \quad (9)$$

Ze wzoru (9) wynika, że na tłumienie napięć zakłócających wspólnych ma wpływ rezystancja wewnętrzna R_w przetwornika pomiarowego oraz impedancje Z_1 i Z_2 .

Równanie (9) jest prawdziwe dla układów z przetwornikami pomiarowymi o dużej rezystancji wewnętrznej R_w (piezoelektryczne, pojemnościowe). W praktyce pomiarowej częściej spotykamy się z przetwornikami o R_w nie przekraczającym setek omów (tensometry, termoelementy, fotorezystory).

Na tej podstawie w dalszej dyskusji we wzorze (9) pominięto R_w , otrzymując

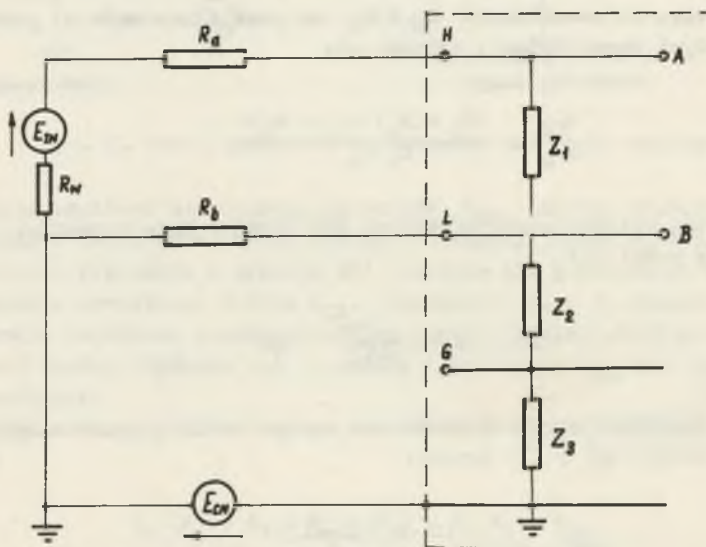
$$CMR = 20 \lg \frac{R_b + Z_2}{R_b} \quad \text{dB} \quad (10)$$

Ponadto $R_b \ll Z_2$.

Ze wzoru (10) wynika, że tłumienie zakłóceń wspólnych zależy od stosunku Z_2/R_b .

W przypadku woltomierza cyfrowego [2] Z_2 stanowi rezystancję R bocznikowaną pojemnością C . Przedział wartości tych wielkości wynosi $R = (10^8 \div 10^{10}) \Omega$, a $C = (9 \cdot 10^{-2} - 0,6) \mu F$.

Na wartości impedancji Z_2 rzutuje szereg czynników zewnętrznych, jak: wilgotność, zapylenie lub zanieczyszczenie izolatorów. Możliwość poprawy tłumienia przez uzyskanie bardzo dużych wartości Z_2 są ograniczone ze względów konstrukcyjnych i dlatego stosuje się inne rozwiązanie w postaci ekranu ochronnego (rys. 3). Ekran ochronny umieszczony jest między wejściem (L) a punktem uziemienia, tworząc tym samym impedancję o wartości Z_3 . W pracy [1] i [2] pokazano, że istotne znaczenie ma sposób połączenia ekranu ochronnego z elementami obwodu pomiarowego.



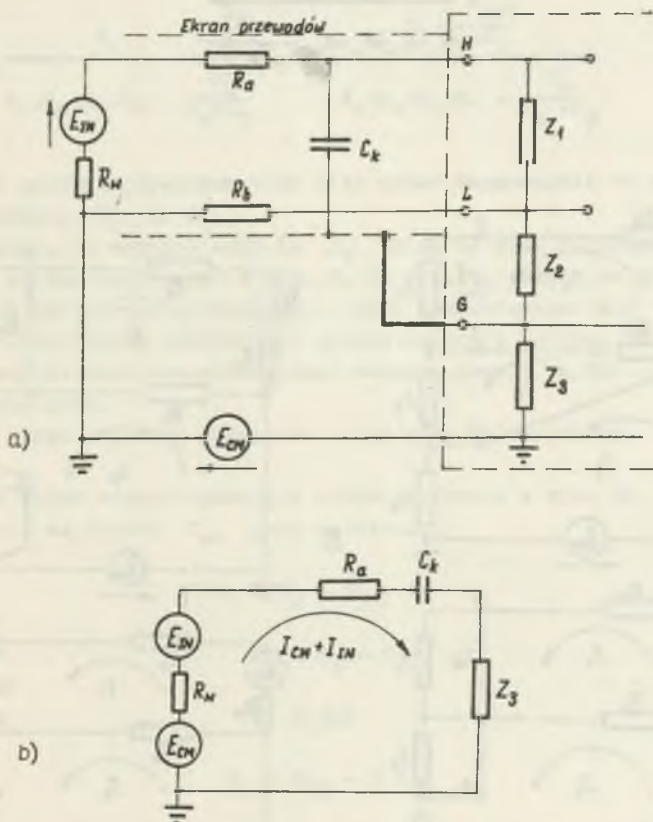
Rys. 3. Woltomierz cyfrowy z ekranem ochronnym (G)

2. Sposoby połączenia ekranu ochronnego

Wykonując pomiary, często posługujemy się przewodami ekranowanymi. Ekranowanie przewodów ma na celu zabezpieczenie ich przed zewnętrznymi zakłóceniami typu elektromagnetycznego. Pokazano przykładowo sposób połączenia ekranu ochronnego woltomierza z ekranem przewodów i wynikające z tego efekty.

Na rys. 4a przedstawiono schemat układu pomiarowego, gdzie C_K stanowi pojemność upływu między przewodami pomiarowymi a ich ekranami. Połączenie ekranu ochronnego z ekranem przewodów powoduje zamknięcie się pętli prądu ziemi (rys. 4b). Źródłem prądu pętli ziemi I_{CN} jest składowa zmienna na-

pięcia zakłóceń wspólnych E_{CM} . Spadek napięcia na R_W i R_B , wywołany przepływem prądu I_{CM} , oddziałuje na wejście woltomierza, zakłócając w ten sposób pomiar.



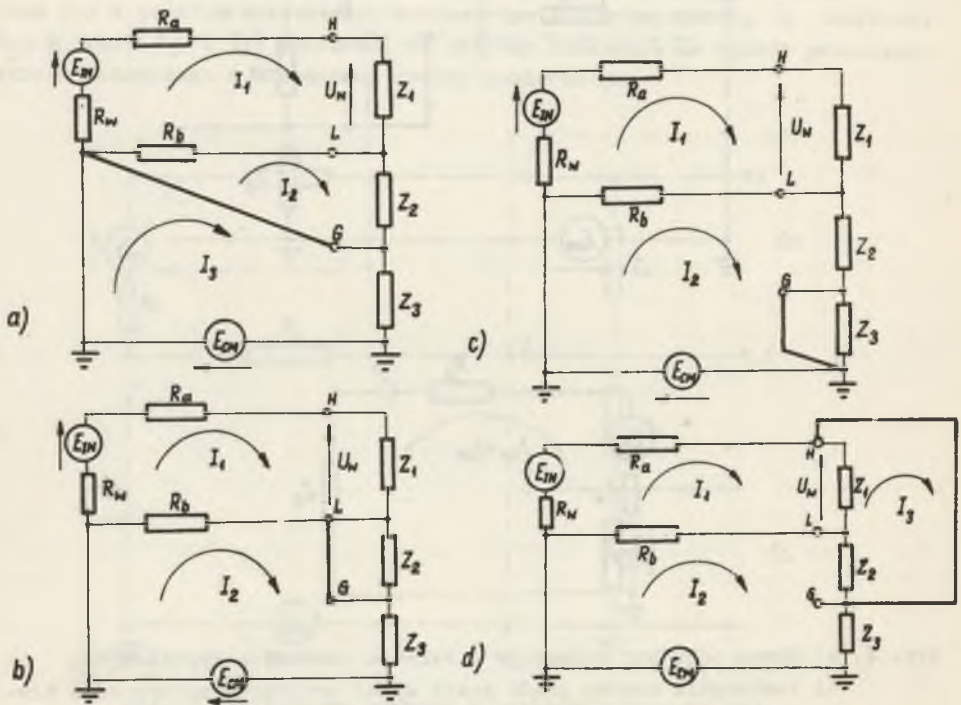
Rys. 4. a) Ekran ochronny połączony z ekranem przewodów sygnałowych,
b) Zamknięcie obwodu prądu pętli ziemi przyczyną pogorszenia tłumienia napięć zakłócających wspólnych

Z rys. 4b należy wnioskować, że łączenie ekranu ochronnego woltomierza z ekranem przewodów nie wpływa na polepszenie tłumienia zakłóceń wspólnych, natomiast w niektórych przypadkach może sytuację pogorszyć.

Na rysunku 5 przedstawiono inne możliwości połączenia ekranu ochronnego z punktami obwodu pomiarowego. Dalsza dyskusja ma na celu wskazanie najkorzystniejszego pod względem tłumienia zakłóceń wspólnych układu połączeń ekranu ochronnego. Na rysunku 5a ekran ochronny połączono z niskim potencjałem źródła sygnału E_{IN} .

W tym przypadku napięcie wejściowe woltomierza ma postać:

$$U_w = \frac{Z_1 E_{IN}}{R_a + R_b + R_w + Z_1 - \frac{R_b^2}{R_b + Z_2}} \quad (11)$$



Rys. 5. Sposoby połączenia ekranu ochronnego przewodem o dużym przekroju
 a) z niskim potencjałem źródła sygnału mierzonego,
 b) z wejściem niskiego potencjału (L) woltomierza,
 c) z punktem uziemienia woltomierza,
 d) z wejściem wysokiego potencjału (H) woltomierza

Z równania (11) wynika, że U_w nie zależy od napięcia zakłóceń wspólnych E_{CH} . Można więc wnioskować, że układ połączeń ekranu ochronnego przedstawiony na rys. 5a spełnia swoje zadanie pod względem tłumienia zakłóceń wspólnych.

Na rys. 5b ekran ochronny połączono z niskim potencjałem wejścia (L) wolt-

tomierza. Obwód ten można opisać prostymi równaniami, których wynikiem rozwiązania jest napięcie wejściowe U_w

$$U_w = E_{II} \frac{Z_1}{R_s + R_b + R_w + Z_1 - \frac{R_b^2}{R_b + Z_3}} + E_{CM} \frac{Z_1 \frac{R_b}{R_b + Z_3}}{R_s + R_b + R_w + Z_1 - \frac{R_b^2}{R_b + Z_3}} \quad (12)$$

Po prostych przekształceniach wzór (12) można doprowadzić do postaci wzoru (4) z zamianą Z_2 na Z_3 .

Warto zauważyć, że wskutek zwarcia Z_2 układ na rys. 5b upodabnia się do układu bez ekranu ochronnego z rys. 2. Na rys. 5c połączono ekran ochronny z punktem uziemienia woltomierza. Układ ten sprowadza się do układu woltomierza bez ekranu ochronnego, przedstawionego na rys. 2. Pociąga to za sobą wszelkie niedoskonałości tego układu, jeżeli chodzi o tłumienie zakłóceń wspólnych.

Na rys. 5d ekran ochronny połączono z wejściem (H) wysokiego potencjału woltomierza.

Rozwiązując układ równań opisujący obwód pomiarowy z rys. 5d, można obliczyć napięcie wejściowe U_w , przy założeniu:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z,$$

$$R_b = R_a \rightarrow 0$$

$$R_w \ll Z$$

$$U_w = E_{CM} + 3 E_{II} \quad (13)$$

Ze wzoru (13) wynika, że połączenie ekranu w układzie podanym na rys. 5d nie polepsza efektu tłumienia zakłóceń wspólnych, w porównaniu z układem z rys. 5a, a wręcz pogarsza.

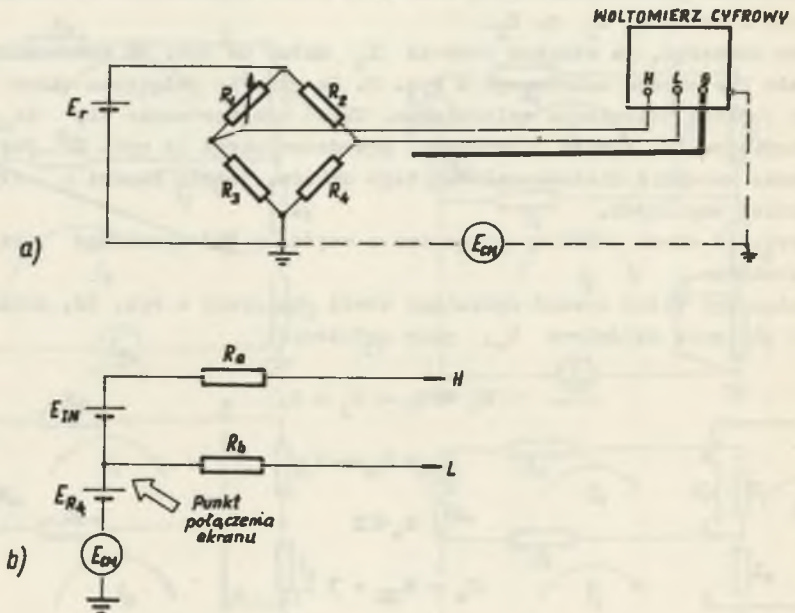
Opierając się na wynikach przeprowadzonych obliczeń oraz biorąc pod uwagę ich zgodność z badaniami przeprowadzonymi w pracy [2], można wyrazić następującą regułę, skutecznego pod względem tłumienia zakłóceń wspólnych, łączenia ekranu ochronnego:

- ekran ochronny powinien mieć potencjał w przybliżeniu równy niskiemu potencjałowi wejścia (L) woltomierza.

Jeżeli istnieje możliwość, należy go połączyć z niskim potencjałem źródła sygnału. Dzięki temu prąd zakłócenia, płynący ze źródła napięć zakłócających wspólnych, nie przepływa przez rezystancję R_a , R_b , R_w i nie wnosi błędów na wejście woltomierza.

3. Zastosowanie praktyczne

Zaproponowany sposób łączenia ekranu ochronnego można poprzeć przykładem praktycznego zastosowania. W praktyce pomiarowej często używanym układem jest mostek niezrównoważony, przedstawiony na rys. 6a. Podobnie jak w punkcie 2 istnieje problem, w jaki sposób dobrze wykorzystać ekran ochronny. Trudność polega na znalezieniu takiego punktu połączenia ekranu ochronnego z elementami układu pomiarowego, aby napięcie zakłócające E_{CM} w jak najmniejszym stopniu oddziaływało na wskazania woltomierza cyfrowego.



Rys. 6. a) Mostkowy obwód pomiarowy

b) Schemat zastępczy mostkowego obwodu pomiarowego sprowadzonego do układu z rys. 2.

Oznaczenia dodatkowe: E_r = napięcie zasilania mostka,

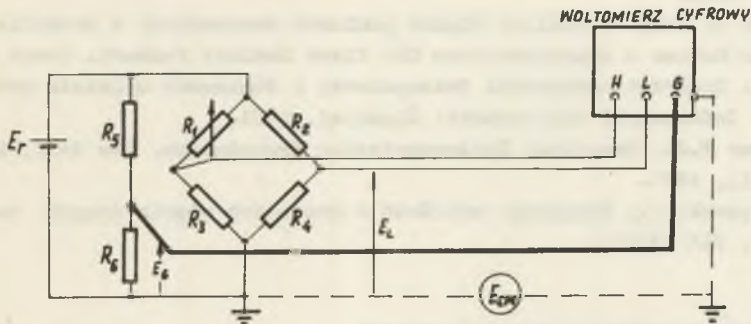
E_{RA} = napięcie zakłócające, powstałe na skutek przepływu prądu zakłócającego ze źródła napięć zakłócających wspólnych przez R_4 .

$$R_a = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$

$$R_b = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

Z rys. 6b, na którym sprowadzono układ mostkowy do postaci podanej na rys. 2, widać, że w realnym układzie mostkowym nie istnieje wskazany (na rys. 6b) optymalny punkt połączenia ekranu ochronnego.

Należy zwrócić uwagę na dodatkowe zakłócenie pojawiające się w układzie zastępczym jako E_{R_4} . Jest to napięcie powstałe na skutek przepływu prądu zakłócającego ze źródła napięć zakłócających wspólnych przez R_4 .



Rys. 7. Ekran ochronny z regulowanym potencjałem $E_G \approx E_L$

Kierując się regułą podaną w punkcie 2 można zbudować układ pomiarowy podany na rys. 7. Dzięki zastosowaniu dzielnika $R_5 \div R_6$ istnieje możliwość znalezienia takiego punktu w dzielniku, którego potencjał byłby w przybliżeniu równy potencjałowi wejścia (L). Do tego punktu można podłączyć ekran ochronny.

Dzielnik napięcia $R_5 \div R_6$ dobiera się tak, aby uzyskać przybliżoną równość między potencjałem wejścia (L) a potencjałem ekranu ochronnego. Otrzymuje się wówczas warunek:

$$\frac{R_6}{R_5 + R_6} \approx \frac{R_4}{R_2 + R_4} \quad (14)$$

4. Wnioski końcowe

Odpowiednie wykorzystanie ekranu ochronnego woltomierza cyfrowego może dać bardzo dobre wyniki tłumienia napięć zakłócających wspólnych. Jest to najtańszy środek zwalczania zakłóceń w kanałach pomiarowych.

Napięć zakłócających normalnych E_{NM} nie można eliminować metodą ekranu ochronnego. Napięcia zakłócające normalne pojawiają się w obwodach pomiarowych głównie na skutek oddziaływania stałych źródeł SEM termoelektrycznych i elektrochemicznych zewnętrznych pól magnetycznych.

Spośród najbardziej znanych metod tłumienia napięć zakłócających normalnych należy wymienić tłumienie przez: filtrację analogową, filtrację cyfrową, statystyczne przetwarzanie analogowo-cyfrowe i integracyjne przetwarzanie analogowo-cyfrowe.

Stale napięcia zakłócające należy kompensować lub likwidować w miejscach powstania.

LITERATURA

- [1] Floating Measurements and Guarding. Application Hewlett - Packard Company 1970.
- [2] Łatka A.: Dokonać analizy błędów pomiarów temperatury w procesie prasowania betonu z wykorzystaniem CRC firmy Hewlett Packard. Praca dyplomowa. Instytut Automatyki Przemysłowej i Pomiarów Wydziału Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej, 1974.
- [3] Oliver F.J.: Practical Instrumentation Transducers. New York, Mc Graw - Hill, 1971.
- [4] Orzepowski S.: Tłumienie zakłóceń w systemach ujęcia danych pomiarowych, PAK 1975/3.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ЦИФРОВОГО ВОЛЬТМЕТРА

Р е з ю м е

В статье представлена проблема влияния мешающих напряжений общего вида на аналого-цифровой преобразователь вольтметра. Обсуждается метод уменьшения помех общего вида путем соответствующего использования защитного экрана в разных измерительных системах. Представлен способ соединения защитного экрана с элементами измерительных преобразователей - иллюстрированный примерами.

UTILISATION GUARD SHIELDING OF DIGITAL VOLTMETER

S u m m a r y

The article deals with the problem of common mode interference on the analogue digital converter of the voltmeter. The improvement of the common mode rejection by the use of guard shielding in diverse measurement systems has been discussed. The principle of connecting the guard shielding with the elements of measuring transmitters has been formulated and illustrated by examples.