

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Automatyki Elektrycznej

074

Zespół Budowy Cyfrowych Urządzeń Systemowych

A

Główny wykonawca mgr inż. Cz. Godzisz

Wykonawcy mgr inż. J. Biernacka, tech. J. Goliszewska

Konsultant

Nr zlecenia

U.23.01.03.A  
etap 2e

Kompatybilność elektromagnetyczna  
cyfrowych urządzeń automatyki.  
Badania zakłócalności wybranych  
typów kabli od pól elektrycznych  
i elektromagnetycznych.

Zleceniodawca problem węzłowy, plan koordynacyjny.

Pracę rozpoczęto dnia 1.03.82

zakończono dnia 20.12.82

Kierownik Zespołu

dr inż. A. Syryczyński

p.d.z- cy Dyr.  
d/s Automatyki

dr inż. T. Gałązka

Kierownik Ośrodka

prof. dr inż. J. Missala

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 15

Egz. 1 BOINTE

rysunków 10

Egz. 2 OAE

fotografii

Egz. 3 OAE

tabel 11

Egz. 4 OBN

tablic -

Egz. 5

załączników -

Egz. 6

Nr rejestr. 4948

Analiza deskrytorowa · KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA:  
BADANIA ZAKŁÓCALNOŚCI + KABLE +  
POLA MAGNETYCZNE + POLA ELEKTRYCZNE

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera wyniki badania zakłócalności kabli od impulsowych pól magnetycznych i elektrycznych. Badanie przeprowadzono dla pary przewodów skręconych, ekranowanej pary przewodów skręconych, kabla współosiowego i pary kabla dwuparowego. Opisano metodykę i specjalizowane stanowiska pomiarowe. Na podstawie wyników pomiarów sformułowano wnioski dotyczące właściwości tłumienia zakłóceń przez badane kable.

Tytuły poprzednich sprawozdań i literatura

- 1 Ott. H.W. Metody redukcji zakłóceń w układach elektronicznych. 1979. WNT Warszawa.
- 2 Hohmann D.B. How to fight EMI propagating over cables. 1979 Montreux EMC Symposium Record.
- 3 Godzisz Cz. i inni. Wykonanie modelu symulatora impulsowych zakłóceń prądowych. Sprawozdanie MERA-PIAP nr rejestr. 4739/1981r.

62-50 Teoria i podstawy teorii sygnałów i sensorów

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

Spis treści

1. Wstęp
2. Zakłócenia polem magnetycznym
  - 2.1. Układ pomiarowy
  - 2.2. Wyniki badania kabla współosiowego
  - 2.3. Wyniki badania pary przewodów skręcanych
  - 2.4. Wyniki badania pary przewodów skręcanych w ekranie
  - 2.5. Wyniki badania pary przewodów kabla ekranowego dwuparowego
  - 2.6. Analiza wyników i wnioski
3. Zakłócenia polem elektrycznym
  - 3.1. Układ pomiarowy
  - 3.2. Wyniki badania kabli
  - 3.3. Wnioski
4. Wnioski końcowe.

Spis rysunków

- Rys. 1. Stanowisko pomiarowe zakłócenia kabli polem magnetycznym.
- Rys. 2. Układ pomiarowy kabla współosiowego.
- Rys. 3. Przebiegi charakteryzujące stanowisko pomiarowe.
- Rys. 4. Typowe przebiegi czasowe mierzonych napięć.
- Rys. 5. Układ pomiarowy pary przewodów skręconych.
- Rys. 6. Układ pomiarowy pary przewodów skręconych w ekranie PL.
- Rys. 7. Układ pomiarowy częstotliwości granicznej ekranu.
- Rys. 8. Uprozczone modele oddziaływania pola magnetycznego na kabel.
- Rys. 9. Stanowisko pomiarowe zakłócenia kabli polem elektrycznym.
- Rys. 10. Przebiegi czasowe napięć przy zakłóceniach impulsowych.

## 1. Wstęp

Zewnętrzne i wewnętrzne połączenia kablowe urządzeń systemów automatyki narażone są na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych. Zakłócenia kabli mogą pochodzić od innych kabli lub urządzeń źródeł zakłóceń, ogólniej, od pól elektromagnetycznych. Mechanizmy sprzężenia zakłóceń zależą od wielu parametrów źródła zakłóceń i obwodu zakłócanego. Zwykle mechanizm ten rozważany jest dla dwóch zakresów częstotliwości pola, określonych często przez pojęcie pola bliskiego i pola dalekiego od źródła. Dla bliskich pól oddzielnie rozważane jest sprzężenia od pól elektrycznych /sprzężenie pojemnościowe/ i od pól magnetycznych /sprzężenie indukcyjne/. Dla pól dalekich rozważane jest sprzężenie elektromagnetyczne wynikające z właściwości ośrodka, w którym odbywa się propagacja fali elektromagnetycznej.

W pracy [1] przyjęto, że granica między polem bliskim i dalekim występuje w odległości  $\lambda/4\pi$  od źródła / $\lambda$  długość fali odpowiadająca określonej częstotliwości zakłóceń źródła/. Przykładowo, przy częstotliwości źródła 50Hz granica ta występuje w odległości ok. 955,4 km, 1MHz - 47,7 m, 30MHz - 15,9m.

W pracy [2] mechanizm sprzężenia pojemnościowego i indukcyjnego rozpatruje się przy długości kabla mniejszej od  $\lambda/16$  częstotliwości zakłóceń, przy dłuższych kablach i kablach o długości  $\lambda/2$  i  $\lambda/4$  zaleca się rozpatrywać mechanizm propagacji fali elektromagnetycznej.

Przy rozpatrywaniu zakłóceń kabli w systemach automatyki głównie należy rozpatrywać sprzężenia pojemnościowe i indukcyjne. Dwoma, ściśle ze sobą powiązаныmi, sposobami zmniejszenia oddziaływania zakłóceń na kable są ekranowanie i uziemianie. W dostępnej literaturze, przykładowo [1], sposoby te rozważane są jedynie dla pól niskiej częstotliwości i głównie dla sprzężeń pojemnościowych.

Celem pracy było określenie właściwości kilku rodzajów kabli, powszechnie stosowanych w automatyce, na oddziaływujące pola magnetyczne i elektryczne o charakterze impulsowym.

## 2. Zakłócenia polem magnetycznym

### 2.1. Stanowisko pomiarowe

Badania wpływu impulsowego pola magnetycznego na kable przeprowadzono na specjalnym stanowisku pomiarowym /rys.1/. Stanowisko zapewnia prowadzenie badań różnych rodzajów kabli przy zachowaniu jednakowych warunków pomiarowych. Stanowisko zapewnia jednakowe wymiary geometryczne pętli /długość kabla w pętli ok. 3 m/ i jej usytuowanie względem uziemionej, płaszczyzny odniesienia /ok. 50 mm nad metalową płytą/. Źródłem zakłóceń pola magnetycznego, jest symulator prądowych zakłóceń impulsowych SPZI-1 opisany w sprawozdaniu [3]. Na kabel oddziałuje pole magnetyczne rdzenia transformatora kabel tworzy wtórne uzwojenia transformatora. Jednozwojowe uzwojenie pierwotne transformatora pobudzane jest prądem rozładowania kondensatora.

Stanowisko wyposażono w zespół komutacyjny składający się z listw zaciskowych i przełączników umożliwiających przyłączenie badanego kabla, zadawanie różnych rezystancji na obu końcach kabla i przyłączenie przyrządu pomiarowego. Pomiarów zakłóceń na końcach kabla /przewodach i ekranie/ dokonuje się względem potencjału odniesienia, uziemionej płyty stanowiska. Stąd też, zespół komutacyjny umożliwia załączanie między końce kabla i płaszczyznę odniesienia określonych rezystancji. Przyjęto dwie wartości rezystorów 1M $\Omega$  i 50 $\Omega$ , reprezentujących rezystancje odbiornika lub nadajnika. W celu wyeliminowania wpływu przyłączanego przyrządu pomiarowego na rozkład potencjałów, przykładowo przy pomiarach potencjałów wiszących końców kabli, generalnie wprowadzono rezystory 1M $\Omega$  łączące końce kabli z potencjałem odniesienia.

Do pomiarów napięć stosuje się oscyloskop OS-710 z sondami pomiarowymi P-701. Impedancja wejściowa kanału z sonda wynosi 10M/10pF. Oscyloskop cechuje się niskim współczynnikiem tłumienia zakłóceń wspólnych przy pomiarach napięć różnicowych, wynoszący 10 przy częstotliwości 50MHz. W przypadku konieczności takich pomiarów, przykładowo, przy pomiarze napięcia między końcami pary skręcanej, należy

ograniczyć pomiary do przypadków w którym napięcie zakłócające wspólne nie powoduje błędów dodatkowych.

Przyjęto, że właściwości stanowiska pomiarowego będą charakteryzowane przez mierzone zakłócenia dla kabla współosiowego typu WL50-0,96/2,95. Przebiegi czasowe mierzonych zakłóceń podano na rys. 3. Uzyskane wyniki pomiarów dla kabla WL50-0,96/2,95 /Tabela 1/ uznano jako kalibrujące stanowisko.

## 2.2. Wyniki badania kabla współosiowego

Badanie przeprowadzono dla kabla współosiowego typu WL50-0,96/2,95. Układ pomiarowy podaje rys.2. Wyniki pomiarów dla różnych kombinacji rezystancji na końcach przewodu i miejsca uziemienia ekranu zestawiono w tabeli 1.

Typowe przebiegi mierzonych napięć podano na rys.4. Dla przebiegów o charakterze A,B mierzono amplitudę impulsu dla przebiegu o charakterze C mierzono amplitudę Upp.

Na podstawie pomiarów obliczono wartości indukowanych napięć w przewodzie i ekranie  $\Delta U_p$  i  $\Delta U_E$ . Dla zilustrowania wpływu połączeń kabla na występujące zakłócenia wprowadzono współczynniki, wyrażone w dB, odniesione do układu połączeń 1. Metodą bocznika pomierzono prąd płynący w uziemionym ekranie /rys.3/, szczytowa wartość prądu wyniosła ok. 7,8A. Dodatkowo w układzie /rys.7/ pomierzono częstotliwość graniczną ekranu, która wyniosła ok. 5 kHz.

## 2.3. Wyniki badania pary przewodów skręconych

Badanie przeprowadzono dla pary przewodów skręconych 2xTLY7x0,15 o skoku skrętki ok. 20...25mm, stosowanej przy montażu urządzeń w MERA-PIAP. Układ pomiarowy podaje rys.5. Wyniki zestawiono w tabeli 2. Zasada pomiarów odpowiednich przebiegów czasowych A,B i C jak w p.2.2. Dokonano również pomiarów napięć między-przewodowych na końcach kabla, ale jedynie w tych przypadkach w których są niskie potencjały wspólne /nieprzekraczające 10x wartości mierzonej/ i zapewniony jest poprawny pomiar napięcia różnicowego. Pomiary napięć międzyprzewodowych przeprowadzono przy bezpośrednim przyłączeniu rezystancji  $50\Omega$  na końcach kabla, jeśli występowała taka rezystancja w badanym układzie połączeń kabla.

Podobnie jak w p. 2.2 obliczono wartości napięć indukowanych w przewodach  $\Delta U_p$  oraz współczynniki tłumienia wyrażone w dB. Układ połączeń 1 przyjęto jako układ odniesienia OdB.

#### 2.4. Wyniki badania pary przewodów skręcanych w ekranie

Badany kabel zbudowany jest z pary skręcanej jak w p.2.3 i naciągniętego opłotu PL10 stanowiącego ekran. Kable takie są wykorzystywane do połączeń urządzeń automatyki produkowanych w ZD MERA-PIAP. Układ pomiarowy podano na rys.6, wyniki pomiarów podaje tabelę 3,4,5. Badania przeprowadzono dla trzech wariantów połączenia jednego przewodu pary skręcanej; przewodu wiszącego, uziemionego z jednej strony, uziemionego z obu stron. Zasada pomiarów jak w p. 2.2 i 2.3. Pomiarów napięć międzyprzewodowych dokonano dla połączeń w których występuje niski poziom napięcia wspólnego, zgodnie z wyjaśnieniem w p. 2.1 i 2.3. Obliczone współczynniki tłumienia wyrażone w dB odniesiono do układu 1 z tabeli 3.

Metodą bocznika podobnie jak w p.2.2 pomierzono szczytową wartość prądu ok. 7,8A w obustronnie uziemionym ekranie. Dodatkowo, podobnie jak w p. 2.2, określono częstotliwość graniczną ekranu PL, ok. 3 kHz.

#### 2.5. Wyniki badania pary przewodów kabla ekranowanego dwuparowego

Badania przeprowadzono dla kabla telekomunikacyjnego dwuparowego typu 4x.

Pomiarów dokonano w celu porównania właściwości kabla z kablem wykonywanym z pary skręcanej i opłotu. Układ pomiarowy jak w p.2.4, wyniki zestawiono w tabelach 6,7,8.

#### 2.6. Analiza wyników i wnioski

1. Ogólnie można stwierdzić, że rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska i metoda pomiarowa są poprawne. Świadczą o tym stabilność i powtarzalność wyników pomiarów, zachowanie symetrii mierzonych potencjałów przy symetrycznych układach połączeń i przy układach połączeń o lustrzanym odbiciu.



Wadą stanowiska jest wysoki poziom napięć /ok. 1,2V/ mierzonych na końcach uziemionego ekranu, w którym płynie znaczny prąd zakłóceń. Zmniejszenie tych potencjałów wymaga zmiany konstrukcji zespołu komutacyjnego, zmniejszenia impedancji odgałęzień uziemiających, zmiany sposobu przyłączania badanych kabli jak i zmniejszenia wpływu występujących zakłóceń na obwody pomiarowe. Stanowisko nie posiada układu umożliwiającego bezpośrednio określenie parametrów zakłócającego pola magnetycznego. Próba pośredniego określenia tych parametrów przez pomiar prądu w obustronnie uziemionym ekranie nie zapewnia wiarygodnych pomiarów. Metoda wymaga zastosowania bocznika o b.niskiej rezystancji /o minimalizowanej indukcyjności/ co prowadzi do pomiaru b.niskiego poziomu sygnału w środowisku o wysokim polu magnetycznym. Wydaje się, że właściwszą metodą pomiaru prądu ekranu jest metoda bezstykowa, wykorzystująca transformator prądowy o szerokim paśmie przenoszenia. W przyszłości celowe jest sprawdzenie tej metody pomiaru prądu w ekranie.

2. Przyjęta metoda kalibracji stanowiska, za pomocą kabla współosiowego WL50 jest metodą prostą, ujmującą kompleksowo parametry stanowiska i oddziaływującego pola. Jest metodą odpowiednią do badań porównawczych różnych konstrukcji kabli i układów połączeń kabla przy umownym zakłócającym polu magnetycznym. Badania przeprowadzono dla dużej liczby układów połączeń kablem wynikających z punktu widzenia kabla, a nie układów połączeń wynikających z praktyki transmisji sygnału. Jednak dzięki temu można było sformułować ogólne wnioski dotyczące konkretnych układów praktycznych.
3. Stanowisko zapewnia względne określenie wpływu umownego zakłócającego pola magnetycznego na kable o różnych konstrukcjach i połączonych w określone układy transmisji sygnału. Mogą być stosowane specjalizowane generatory zapewniające wytworzenie określonych parametrów pola zakłócającego.

4. Zmienne pole magnetyczne sprzężone z kablem indukuje SEM w przewodach i ekranie kabla. W wyniku tego zjawiska na końcach kabla /na przewodach i ekranie/ występują potencjały mierzone względem uziemionej płaszczyzny odniesienia. Na jednym końcu występują potencjały dodatnie na drugim końcu ujemne /rys.8/.
5. Dla symetrycznych układów połączeń kabla, w których nie płyną prądy zakłóceń, amplitudy potencjałów na końcach przewodów i ekranie są sobie równe.
6. W układach niesymetrycznych potencjały na końcach są różne. Niższe amplitudy występują na końcach przewodu od strony niższej rezystancji lub od strony uziemionego ekranu.
7. Indukowane SEM w przewodach i w ekranie są zbliżone. Różnice występują w układach charakteryzujących się przepływem prądów zakłóceń.
8. Charakter przebiegów czasowych mierzonych potencjałów na końcach kabla jest podobny. Jedynie w układach niesymetrycznych na końcach przewodu i niską rezystancję i na uziemionym końcu ekranu występują przebiegi zniekształcone, odbiegające od typowego charakteru A. Wynika to z przepływu prądów pojemnościowych między ekranem i przewodem.
9. Tłumione SEM zakłóceń w przewodzie występuje:
  - dla kabla współosiowego WL w układach połączeń 3,7,10 tabela 1, w których ekran jest obustronnie uziemiony,
  - dla pary przewodów skręconych w układach 8,9,10 tabela 2, w których jeden przewód pary skręconej jest obustronnie uziemiony,
  - dla pary skręcających przewodów w ekranie PL w układach:
    - 8,9,10 tabela 3, 6,7,8,9 tabela 5, w których ekran jest obustronnie uziemiony,
    - 1,2,3 tabela 4, w których jeden przewód pary skręconej jest obustronnie uziemiony,
    - 8.9.10 tabela 4, w których ekran i jeden przewód są obustronnie uziemione,

- dla pary przewodów kabla dwuparowego ekranowanego w układach:
  - . 8,9,10 tabela 6 i 6,7,8,9 tabela 8, w których ekran jest obustronnie uziemiony,
  - . 1,2,3 tabela 7, w których jeden przewód pary jest obustronnie uziemiony,
  - . 8.9.10 tabela 7, w których ekran i jeden przewód pary są obustronnie uziemione.

10. Jednostronne uziemianie ekranu lub jednego przewodu z pary nie wprowadza tłumienia zakłóceń.

11. Poziom tłumienia SEM zakłóceń w przewodzie kabli wynosi:

- kabel współosiowy WL z obustronnie uziemionym ekranem, 22,2...23,5 dB
- para przewodów skręconych w jednym przewodzie obustronnie uziemionym, 12,5...13,5 dB
- para przewodów skręconych w ekranie PL obustronnie uziemionym, 23,5...24,3 dB
- para przewodów skręconych w ekranie PL z obustronnie uziemionym ekranem i jednym przewodem pary, 26...27 dB
- para przewodów kabla dwuparowego z obustronnie uziemionym ekranem 20,5...21,1 dB
- para przewodów kabla dwuparowego z obustronnie uziemionym przewodem z pary 10,6...17,3dB
- para przewodów kabla dwuparowego z obustronnie uziemionym ekranem i jednym przewodem pary 22,3...23,8 dB

Przewód pary skręcanej wykorzystywany jako ekran ze względu na niską indukcyjność tak tworzonego ekranu posiada blisko o 10 dB niższą skuteczność ekranującą od ekranu z opłotu. Para skręconych przewodów w ekranie w której uziemiane są ekran i jeden z przewodów pary może być traktowana jako przewód o podwójnym ekranie, stąd skuteczność ekranowania i tłumienia wzrastają.

M

12. Zmniejszenie SEM zakłóceń w przewodzie występuje jedynie w przypadku dopuszczenia do przepływu znacznych prądów zakłóceń w ekranie lub w przewodzie pary skręconej.

W układach w których występuje zamknięty obwód przewód - płaszczyzna odniesienia występują w przewodzie znaczne prądy zakłóceń, szczególnie przy niskich impedancjach, na końcach przewodu.

13. Na podstawie badań można zaproponować następujące uproszczone modele tłumaczące zjawisko oddziaływania zmiennego pola magnetycznego na kabel współosiowy /rys.8/. Generalnie w przewodzie /w przewodach/ i ekranie indukuje się SEM proporcjonalna do zmiany strumienia magnetycznego skojarzonego z przewodem lub ekranem.

Przyjęto, że występującą pojemność przewód-ekran można zastąpić pojemnościami skupionymi na obu końcach kabla.

W obwodach z przepływem prądu uwzględniono skupionymi elementami indukcyjność i rezystancję przewodu i ekranu oraz indukcyjność wzajemną ekran-przewód.

### 3. Zakłócenia polem elektrycznym

#### 3.1. Stanowisko pomiarowe

Badania wpływu impulsowego pola elektrycznego na kable przeprowadzono na specjalnym stanowisku rys.9. Stanowisko wykorzystuje rozwiązanie konstrukcyjne stanowiska stosowanego przy badaniach wpływu pola magnetycznego. Źródłem zakłóceń jest generator napięciowy sprzęgnięty z badanym kablem specjalnie wykonanym kondensatorem nakładanym na kabel /rys.9b/. Napięcie zakłóceń przyłączane jest między kondensator sprzęgający i płaszczyznę odniesienia stanowiska /rys.9c/. Pomiarów zakłóceń na końcach kabla /przewodach, ekranach/ dokonuje się oscyloskopem względem potencjału płyty stanowiska. Zespół komutacyjny, taki sam jak w stanowisku do badań wpływu pola magnetycznego, umożliwia załączanie rezystorów między końce kabla i płaszczyznę odniesienia i uziemianie ekranu. Do pomiaru napięć zastosowano oscyloskop OS-710 z sondami pomiarowymi P-701. Przy pomiarach napięć o niskim poziomie poniżej 50mV, zastosowano bezpośrednie przyłączenie mierzonych napięć do wejść oscyloskopu kablem koncentrycznym. Badania przeprowadzono dla następujących sygnałów zakłócających

- impuls napięciowy 500V o czasie trwania: ok. 0,1μs i czasie narastania ok. 35ns wytwarzany przez symulator NSG 222 SCHAFFNER,
- sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 0,6MHz wytwarzany przez generator RC typ PO-18.

#### 3.2. Wyniki pomiarów

1. Impuls zakłócający 500V 35ns/100ns [czas narastania zbocza/czas trwania impulsu na połowie amplitudy].

Dla wszystkich badanych rodzajów kabli na końcach ekranu i przewodu /lub przewodów/ wystąpiły stany przejściowe charakteryzujące są tłumioną oscylacją o częstotliwości ok. 60 MHz.

W symetrycznych układach połączeń kabli, w których nie było uziemionych ekranów lub przewodów /układy symetryczne wiszące - końce ekranów i przewodów połączone rezystancją 1 MΩ z płaszczyzną odniesienia/, oscylacje były nałożone na składową wykładniczą impulsu zakłócającego /rys.10/.

W układach, w których wprowadzono uziemienia, składowa impulsu zakłócającego objawiła się w postaci wyższej amplitudy pierwszej połówki okresu, tłumionych oscylacji.

Czas trwania oscylacji zmieniał się od 0,1...0,2  $\mu$ s zależnie od układu połączeń, dłuższe czasy wystąpiły w układach niesymetrycznego uziemienia /ekranu lub żyły/.

Wartości szczytowe występujących stanów przejściowych:

Kabel	Układ wiszący /2/	ekran uziemiony obustronnie	ekran uziemiony obustronnie 50 $\Omega$ sym.
1/ WL50 0,96/2,95	140Vpp /30V/	60Vpp	20Vpp
2/ para przew.skr	64Vpp /40V/	80Vpp /1/	48Vpp /1/
3/ para przew.skr w ekranie PL	92Vpp /30V/	50Vpp	-
4/ - " - z obustronnie uziemionym przewodem	80Vpp	48Vpp	24Vpp

Uwaga! W nawiasach podano amplitudę składowej impulsu zakłócającego.

/1/ uziemiony przewód pary

/2/ układ, w którym wszystkie końce kabla połączone rezystorem 1M z płaszczyzną odniesienia.

- Zakłócenia sygnałem sinusoidalnym 0,6 MHz. Wyniki wybranych układów połączeń kabli zestawiono w tabelach 9, 10 i 11.
- Dodatkowo, przeprowadzono badania kabla WL-50 0,96/2,95 przy zakłóceniach impulsowych prostokątnych o amplitudzie 3,2V i czasie impulsu ok. 50ns, zboczach impulsu ok. 5 ns. Na końcu przewodu po stronie nieuziemionego ekranu wystąpiły oscylacje tłumione o częstotliwości 10 MHz o amplitudzie ok. 2,5Vpp i czasie trwania ok. 4 $\mu$ s. Stwierdzono to w układzie połączeń kabla z jednostronnie uziemionym ekranem i w układzie z rezystorami 1 Mom na końcach przewodu. W układzie symetrycznym z rezystorami 50  $\Omega$  i obustronnie uziemionym ekranem, na przewodzie wystąpiły stany przejściowe o czasie trwania ok. 0,3 $\mu$ s, amplitudzie 2,5Vpp, ze składową oscylacyjną ok. 60 MHz.

14

### 3.3. Wnioski

1. Stanowisko pomiarowe nie jest przystosowane do prowadzenia badań przy wysokich częstotliwościach. Układ pomiarowy nie jest dopasowany do impedancji falowych badanych kabli. Występujące stany przejściowe w kablach szczególnie przy zakłóceniach impulsowych, zniekształcają wyniki pomiarów. Do formułowania wniosków mogą być wykorzystane jedynie pomiary przeprowadzone przy zakłóceniu sinusoidalnym 0,6 MHz. Pozostałe wyniki mogą być wykorzystane jedynie do sformułowania ogólnych uwag praktycznych. Biorąc pod uwagę ograniczenia omawiane w p.1 stanowisko może być wykorzystywane do częstotliwości 6 MHz.
2. Przy zakłócaniu kabla polem elektrycznym o określonej częstotliwości na przewodzie /przewodach/ występują napięcia zakłóceń zależne od impedancji przewodu względem płaszczyzny odniesienia - ziemi, impedancji sprzężenia przewodu ze źródłem zakłóceń i amplitudy napięcia źródła zakłóceń.  
Niższe napięcia zakłóceń na przewodzie występują przy niższych impedancjach przewodu względem ziemi, zwiększeniu impedancji sprzężenia przewodu ze źródłem przykładowo przez wprowadzenie uziemionego ekranu.
3. W badanych kablach zwykle uziemiony ekran wprowadza większe tłumienie zakłóceń w przewodzie niż obniżenie rezystancji na końcach przewodu z 1M na 50 om. Przykładowo, w kablu współosiowym uziemiany ekran zapewnia <sup>ok.</sup> 67 dB tłumienia, zaś zmniejszenie rezystancji 1M do 50om wprowadza tylko ok. 30 dB tłumienia. Podobnie w parze przewodów skręconych w ekranie PL, uziemienie ekranu zapewnia tłumienie ok. 63 dB zaś zmniejszenie rezystancji na końcach przewodu ok. 36dB tłumienia. Jedynie dla pary przewodów skręconych jest odwrotnie.
4. Skuteczność tłumienia zakłóceń od pola elektrycznego przez ekran zależy od jego szczelności. Przykładowo uziemiony jeden przewód pary skręconej, traktowany jako ekran, zapewnia jedynie ok. 10dB tłumienia, zaś ekran z oplotu zapewnia <sup>ok.</sup> 63dB. Dlatego też w parze skręconych przewodów

tłumienie zakłóceń przez zmniejszenie rezystancji na końcach przewodu jest skuteczniejsze /ok. 21 dB/ od uziemienia jednego przewodu pary /10 dB/.

5. W przypadku oddziaływania na kabel pola elektrycznego od źródła napięciowych o charakterze impulsowym, szczególnie o stromych zboczach impulsu, w kablach występują stany przejściowe o znaczniejszych amplitudach porównywalnych z amplitudami zakłóceń i czasie trwania do kilku mikrosekund. Zmniejszenie amplitud stanów przejściowych można uzyskać na drodze symetryzacji układu połączeń kabla i dopasowania impedancji falowej kabla na obu końcach.

#### 4. Wnioski końcowe

1. Przyjęta metodyka badań umożliwiła określenie właściwości zakłóceńowych różnych rodzajów /konstrukcji/ kabli od zewnętrznych pól magnetycznych i elektrycznych o określonych parametrach.
2. Stanowisko pomiarowe do badania wpływu pola magnetycznego umożliwia porównywanie właściwości różnych kabli względem określonego typu kabla. W tych badaniach przyjęto jako odniesienie i element kalibrujący stanowisko <sup>kabla współosiowego WL50-08/295</sup> właściwości. Stanowisko umożliwia przeprowadzenie badań wpływu pola magnetycznego o umownych parametrach przez zastosowanie odpowiednich generatorów pola. Badania można przeprowadzić dla określonych połączeń kabla jako linii transmisji sygnału użytkowego z nadajnika do odbiornika, odpowiednimi schematami zastępczymi lub w układzie rzeczywistym. Symulator SPZI-1 może być wykorzystywany do badań zakłócalności rzeczywistych torów transmisji sygnałów.
3. Stanowisko pomiarowe do badania wpływu pola elektrycznego umożliwia porównania właściwości w ograniczonym zakresie częstotliwościowym. Przy uwzględnieniu uwag z [2] omówionych w p.1, stanowisko może być wykorzystywane do częstotliwości 6 MHz /częstotliwości rezonansowe ok. 25 i 50 MHz/. Stanowisko umożliwia badania przy umownych sygnałach zakłócających.



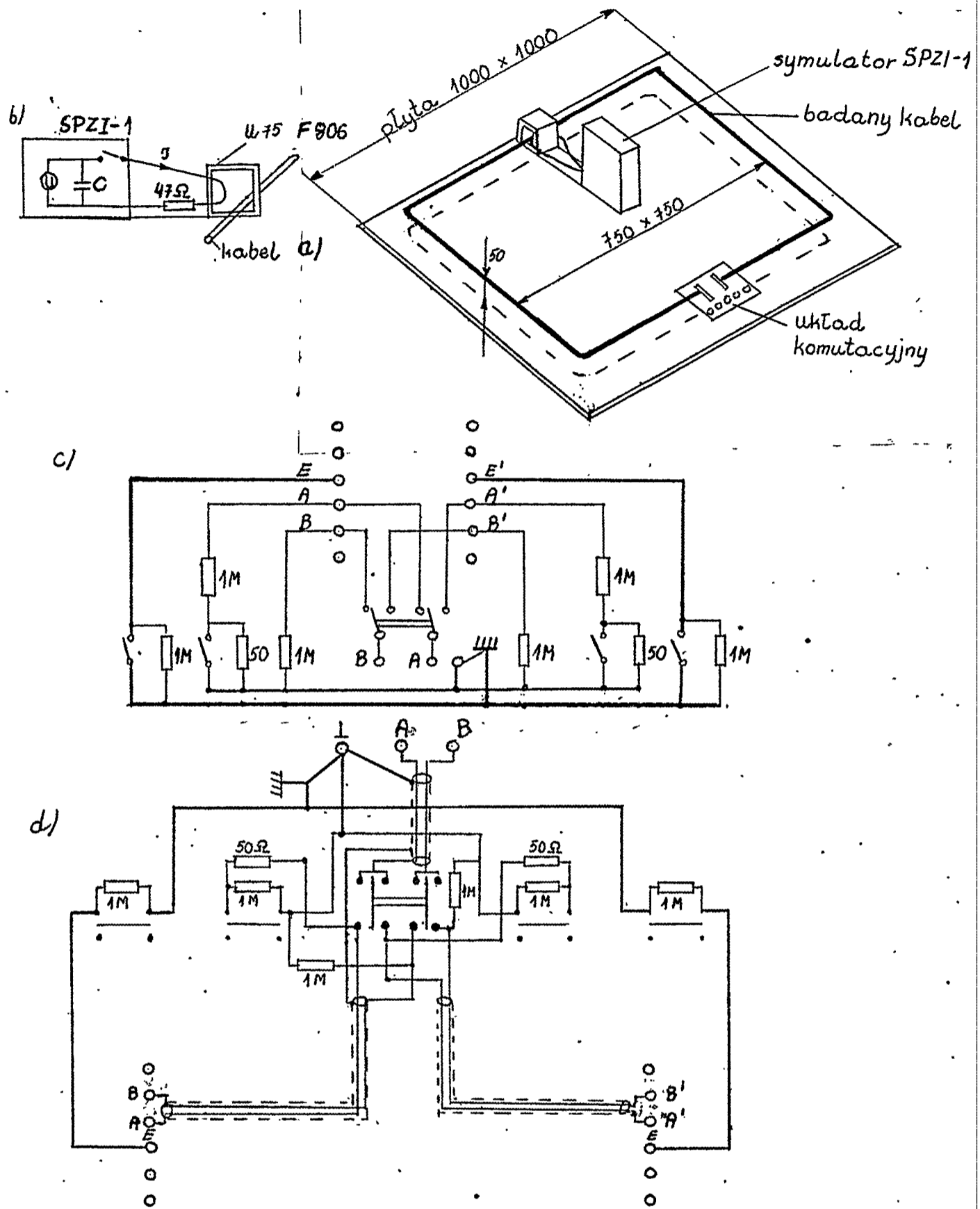
Dla zakłóceń o charakterze impulsowym szczególnie o stromych zboczach impulsu, występują zjawiska przejściowe wymagające zwrócenia uwagi na problematykę dopasowania impedancji na końcach kabla do impedancji falowej kabla. Metoda sprzężenia kabla z generatorem zakłóceń przez specjalny kondensator sprzęgający może być wykorzystana do badań zakłócalności torów transmisji w rzeczywistych układach.

4. Na podstawie przeprowadzonych badań wpływu zewnętrznego impulsowego pola magnetycznego /sprzężenia indukcyjnego/ na kable o różnych konstrukcjach można stwierdzić, że zdolność tłumienia zakłóceń występuje w przypadku gdy w ekranie lub w przewodzie pary /traktowanym jako ekran/, dopuści się przepływ prądu zakłócającego indukowanego od oddziaływującego pola. Wymaga to obustronnego uziemienia ekranu lub przewodu pary w celu zamknięcia obwodu o niskiej impedancji dla prądu zakłócającego przez płaszczyznę ziemi. Jednostronne uziemienie ekranu lub przewodu pary nie zapewnia tłumienia zakłóceń od pola magnetycznego.

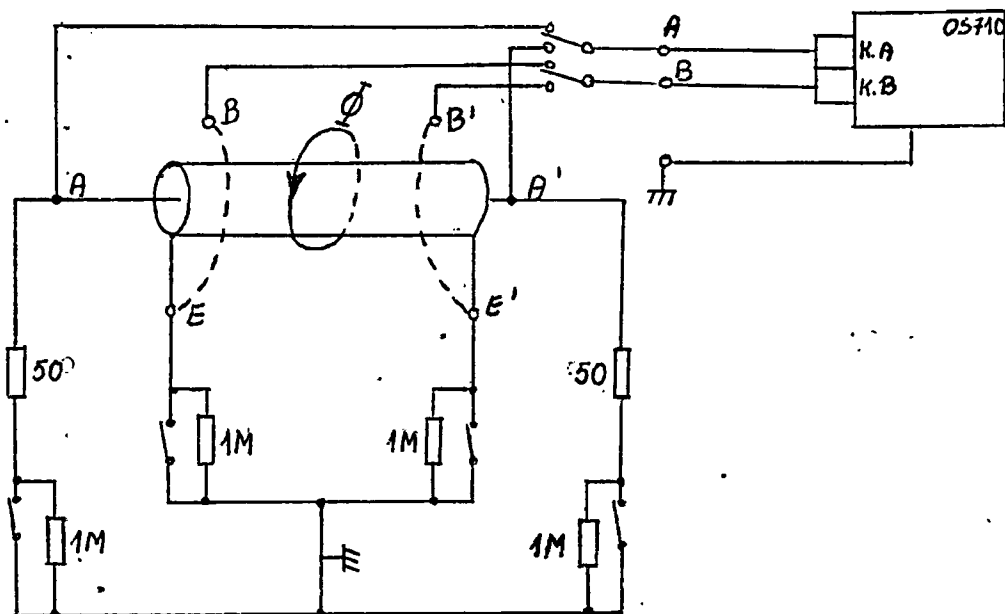
Biorąc pod uwagę skuteczność tłumienia zakłóceń, najniższe tłumienie zapewnia para przewodów skręconych z obustronnie uziemionym przewodem /12,5...13,5 dB/, najwyższe tłumienie zapewnia para przewodów skręconych ekranowana, z ekranem i przewodem pary obustronnie uziemionym /26...27 dB/. Pozostałe konstrukcje kabli zapewniają tłumienie w przedziale 20...24 dB.

5. Zakłócenia indukowane przez zewnętrzne pole elektryczne /sprzężenie pojemnościowe ze źródłami zakłóceń/ najskuteczniej tłumi uziemiony szczelny ekran, słabiej zmniejszenie impedancji kabla względem ziemi. Uziemiony ekran z oplotu zapewnia tłumienie ok. 60dB, uziemiony przewód pary skręcanej /traktowany jako ekran/ zapewnia tłumienie ok. 10dB. Zmniejszenie rezystancji kabla względem płaszczyzny uziemienia z 1M $\Omega$  do 50 $\Omega$  zmniejsza zakłócenia od 20...30dB. Zmniejszenie amplitud stanów przejściowych pobudzanych zakłóceniami impulsowymi /o stromych zboczach/ możliwe jest przez symetryzację układu połączeń kabla, obustronne uziemienie ekranów, dopasowanie impedancji.

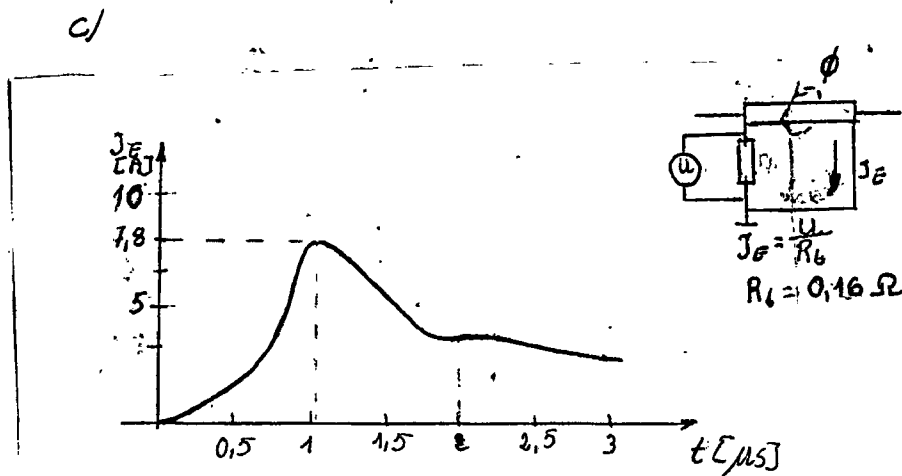
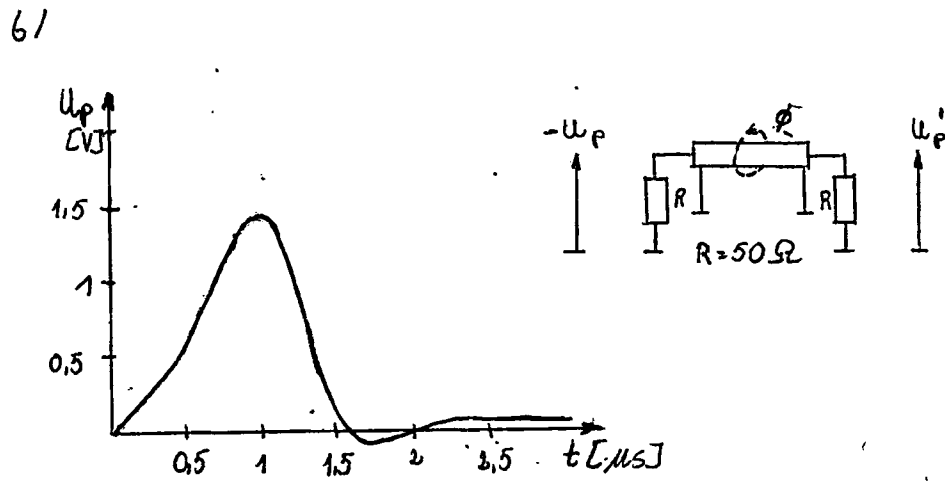
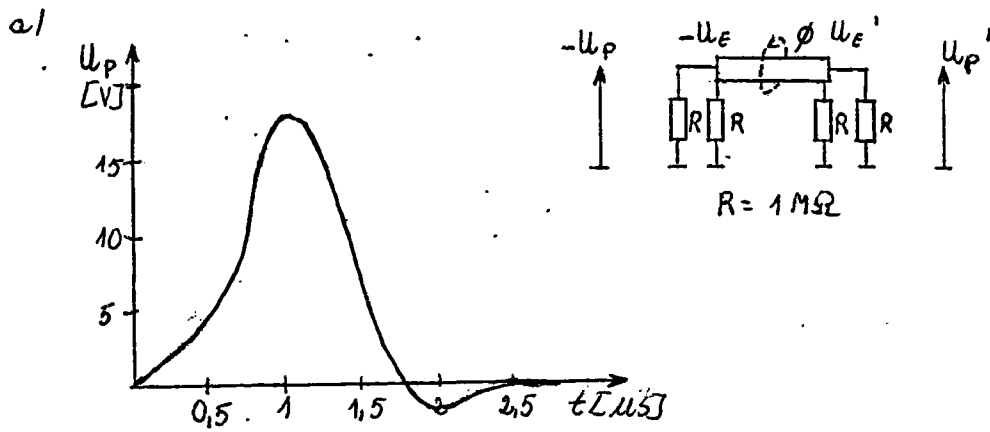
6. Szczegółowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań podano w p. 2.6 i 3.3. Do analizy zakłócalności konkretnego toru transmisji sygnału od zewnętrznych pól zakłócających należy wykorzystać wyniki badań odpowiednich połączeń kabla, uwzględniając prądów zakłócających na pracach nadawnika i odbiornika (wpływ)



Rys.1. Stanowisko pomiarowe zakłócenia kabli polem magnetycznym  
 a/ ogólny widok  
 b/ uproszczony schemat ideowy symulatora SPZI-1  
 c/ układ komutacyjny  
 d/ schemat montażowy układu komutacyjnego.



Rys.2. Układ pomiarowy kabla współosiowego.



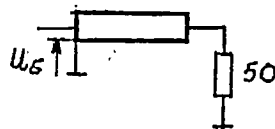
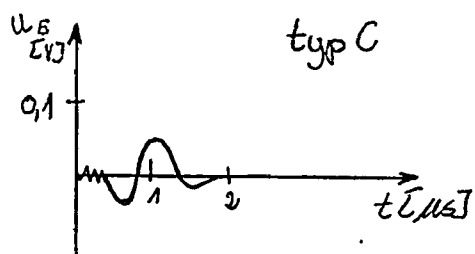
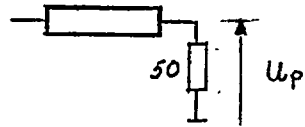
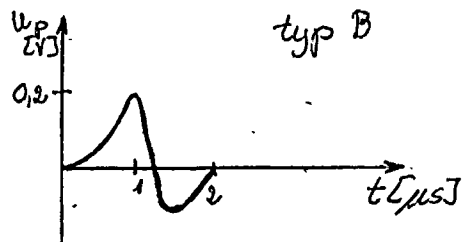
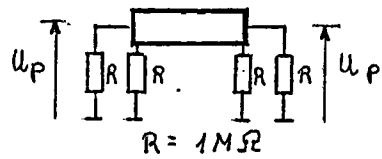
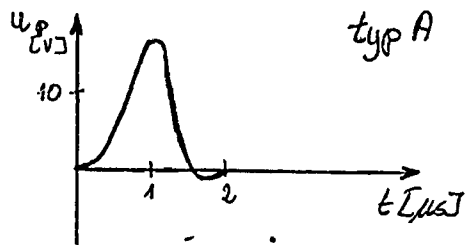
Rys. 3. Przebiegi charakteryzujące stanowisko pomiarowe.

Kabel współosiowy WL50-0.96/2,95.

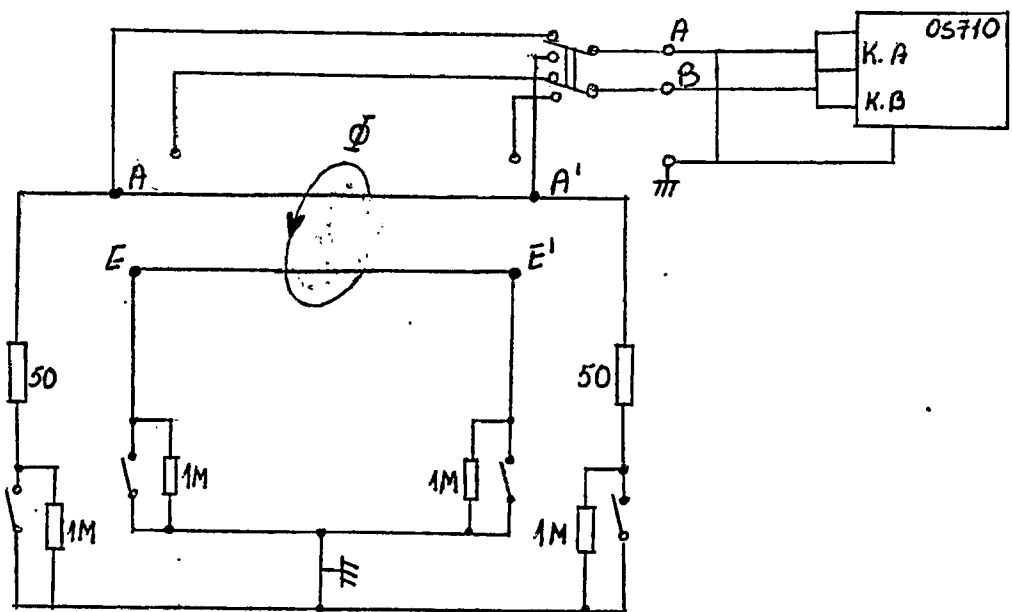
a/ potencjały na końcach przewodu i ekranu

b/ potencjały na końcach przewodu i ekranu przy uziemionym obustronnie ekranie

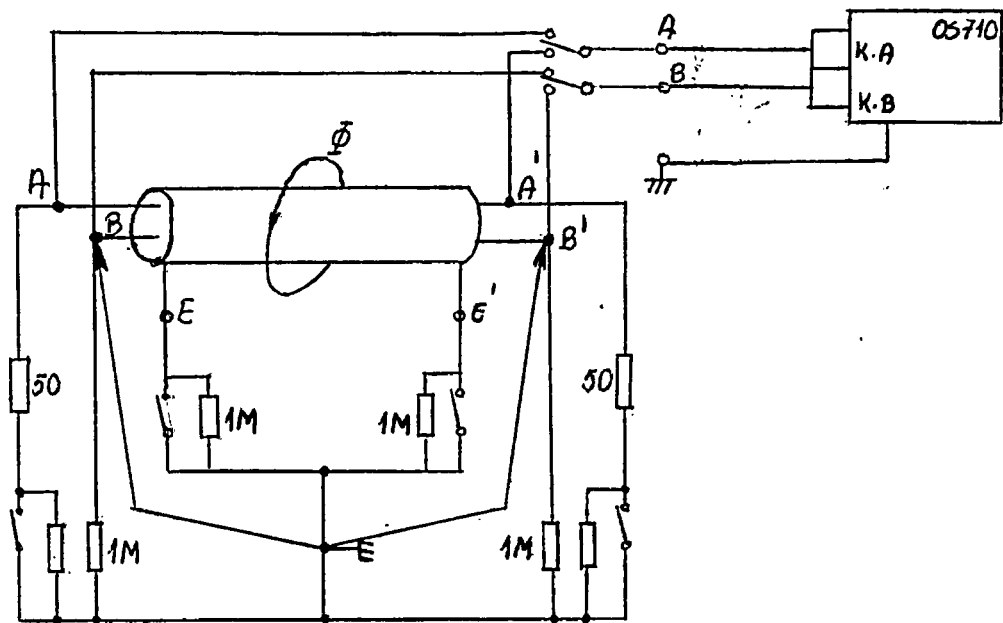
c/ prąd w ekranie



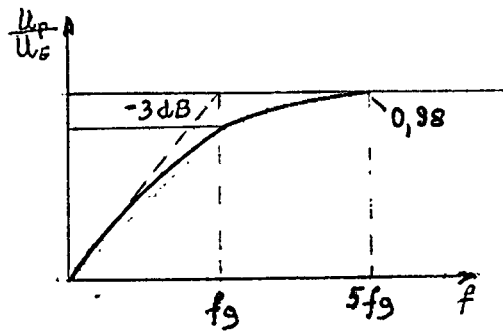
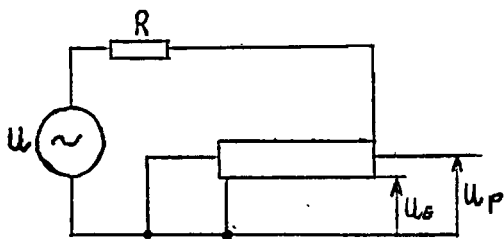
Rys.4. Typowe przebiegi czasowe mierzonych napięć.



Rys.5. Układ pomiarowy pary przewodów skręconych.

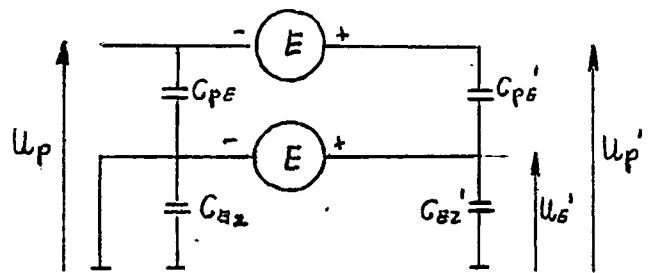
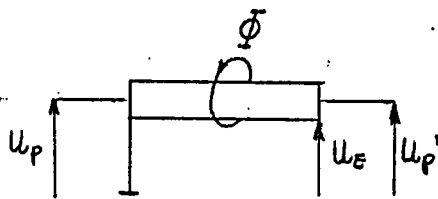
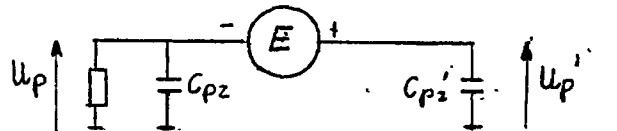
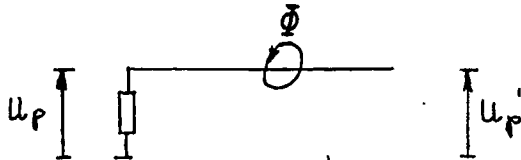
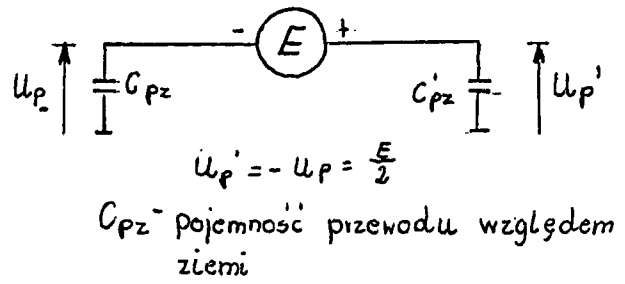
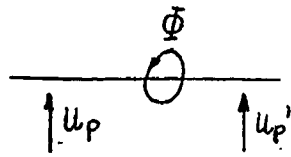


Rys.6. Układ pomiarowy pary przewodów skręconych w ekranie PL.

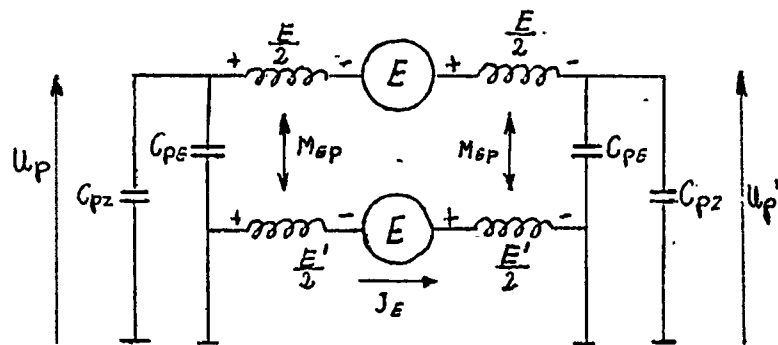
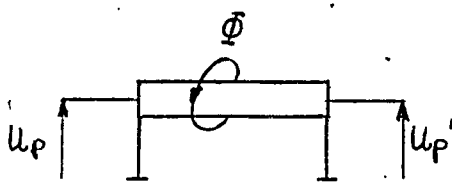


$$f_g = \frac{1}{3\pi} \times \frac{R_E}{L_E}$$

Rys.7. Układ pomiarowy częstotliwości granicznej ekranu.



$C_{pE}$  - pojemność przewód-ekran  
 $C_{EZ}$  - pojemność ekran-ziemia

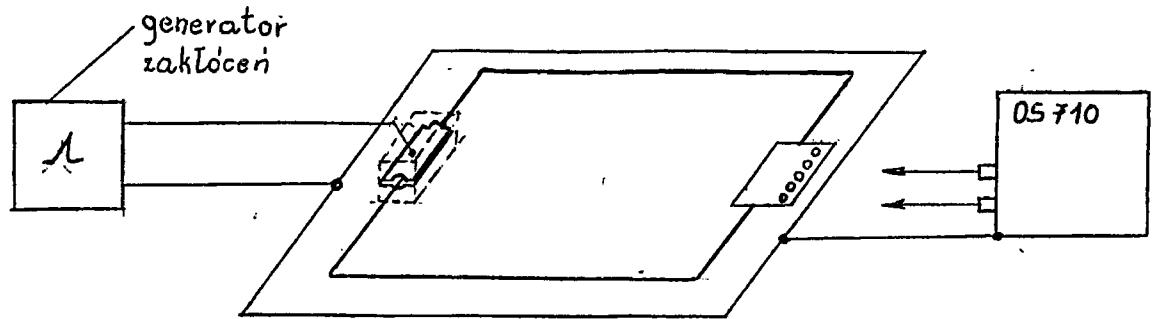


$M_{EP}$  - indukcyjność wzajemna ekranu i przewodu.

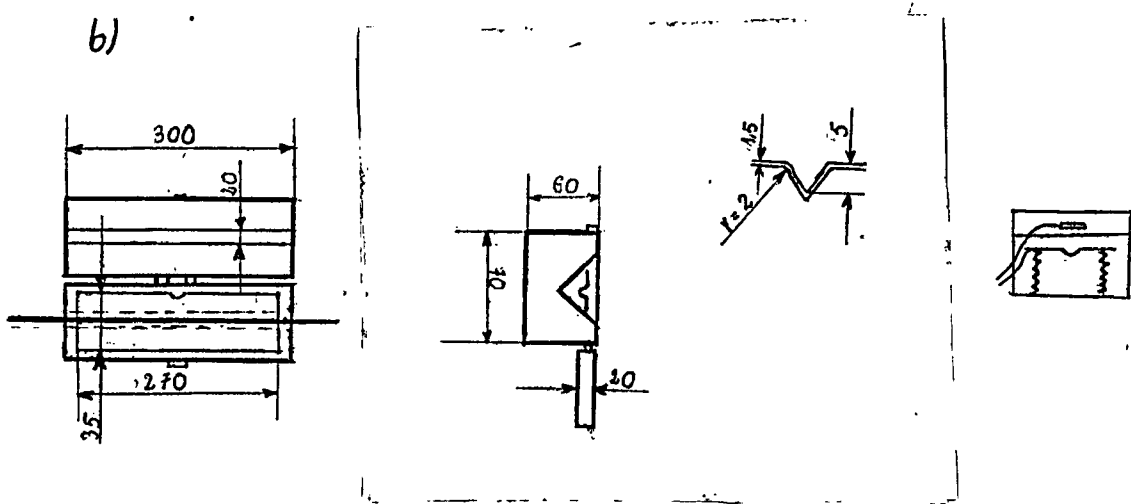
$M_{EP} \approx L_E = L_p$

Rys.8. Uproszczone modele oddziaływania pola magnetycznego na kabel.

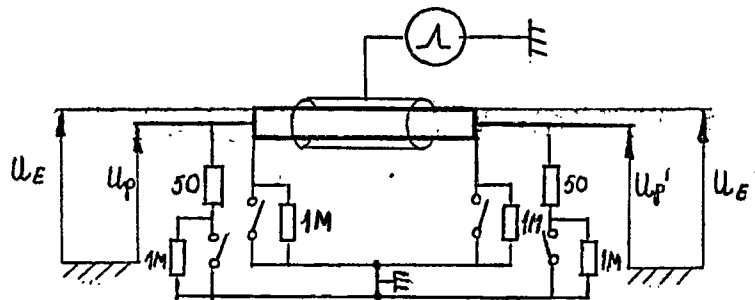
a)



b)



c)



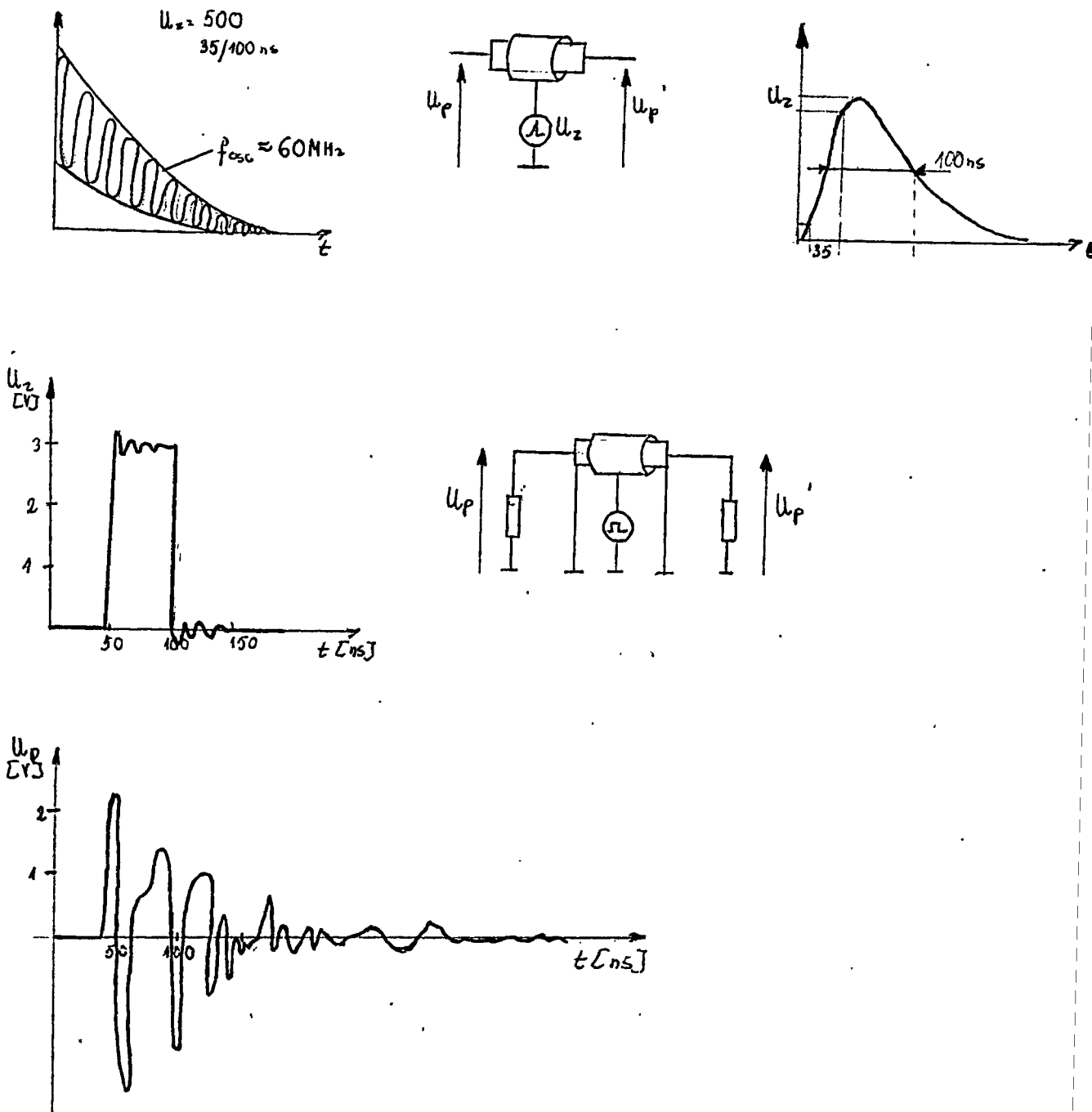
Rys.9. Stanowisko pomiarowe zakłócania kabli polem elektrycznym

a/ stanowisko

b/ kondensator sprzęgający

c/ układ pomiarowy dla kabla współosiowego





Rys.10. Przebiegi czasowe napięć przy zakłóceniach impulsowych.

Tabela 1. Kabel współosiowy WL 50 - 0,96/2,95

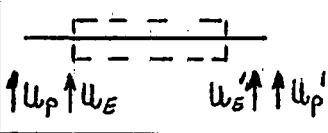
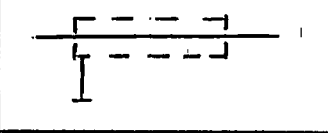
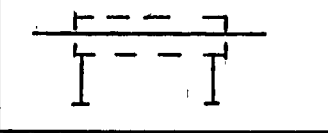
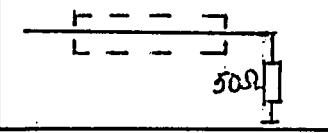
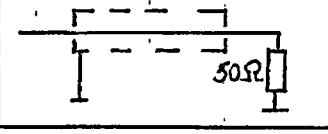
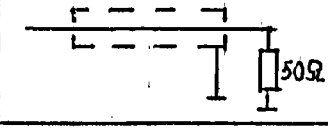
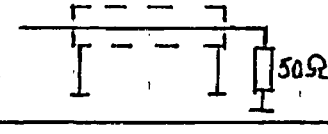
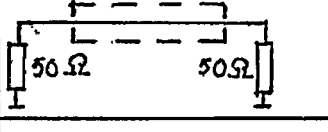
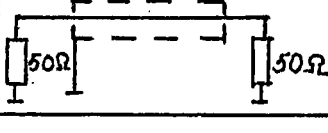
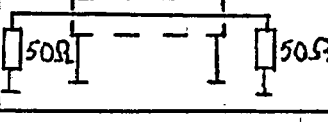
X	$U_P$	$U_E$	Wzrost połączeń	$U_{P'}$	$U_{E'}$	$\frac{U_{Px}}{U_{P1}}$	$\frac{U_{Px'}}{U_{P1'}}$	$\Delta U_P$	$\Delta U_E$
	V	V		V	V	dB	dB	V / dB	V / dB
1	-18 A	-18 A		18 A'	18 A'	0	0	36 0	36 0
2	-1,2 A	0,1 C		42 A'	46 A'	-23,5	7,4	43,2 1,6	46 2,2
3	-1,2 A	-1,2 A		1,2 A'	1,2 A'	-23,5	-23,5	2,4 -23,5	2,4 -23,5
4	-46 A	-40 A		0,2 B	3,6 A'	8,2	-39	46,2 2,2	43,6 1,6
5	-48 A	0,1 C		2 B	48 A'	8,5	-19	50 2,9	48 2,5
6	-44 A	-44 A		0,06 B	0,1 C	7,8	-49,5	44 1,8	44 1,8
7	-2,8 A	-1,4 A		0,06 B	1,2 A'	16,2	-49,5	2,8 -22,2	2,6 -22,8
8	-22 A	-22 A		22 A'	22 A'	1,8	1,8	44 1,8	44 1,8
9	-22 A	0,1 C		22 A'	44 A'	1,8	1,8	44 1,8	44 1,8
10	-1,4 A	-1,2 A		1,4 A'	1,2 A'	-22,2	-22,2	2,8 -22,2	2,4 -23,5

Tabela 2. Para przewodów okrągłych.

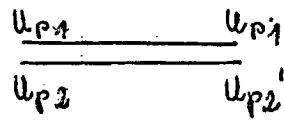
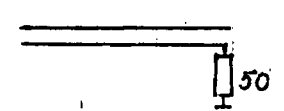
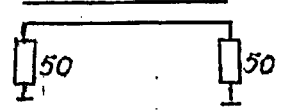
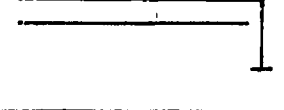
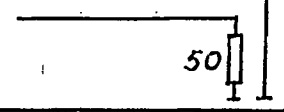



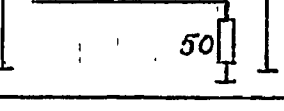
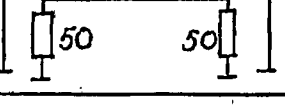
Lp.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$U_{PP}$	$U_{PP}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V	V	V	V
								dB	dB
1	-16 A	-16 A		16 A	16 A			32 0	32 0
2	-36 A	-44 A		4 A	0,16 B			40 2	44 2,8
3	-20 A	-21 A		20 A	21 A			40 2	42 2,4
4	-44 A	-36 A		0,1 C	3,8 A			44 3,8	39,8 1,9
5	-44 A	-44 A		0,1 C	0,08 B			44 2,8	44 2,8
6	-44 A	-0,8 B		0,1 C	44 A			44 2,8	44,8 2,9
7	-42 A	-21 A		0,1 C	21 A			42 2,4	42 2,4
8	-0,15 A	-3,5 A		0,15 A	3,5 A	3,4 A	3,4 A	0,3 -4,1	7 -13,2
9	-0,12 A	-8 A		0,15 A	0,08 B	7,2 A	0,06 B	0,27 -41,5	8 -13
10	-0,15 A	-3,8 A		0,15 A	3,8 A	3,6 A	3,6 A	0,3 -40,6	7,6 -12,5

Tabela 3. Para przewodów skrzynnych w ekranie PL

L.p.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Wzrost potencjału	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$U_{pp}$	$U_{pp}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V	$U_{p1}$ --- $U_{p1}'$ $U_{p2}$ --- $U_{p2}'$	V	V	V	V	V	V
								$\frac{dB}{dB}$	$\frac{dB}{dB}$
1	-18 A	-18 A		18 A	18 A			36 0	36 0
2	-40 A	-46 A		3,4 A	0,18 B			43,4 1,6	46,2 2,2
3	-21 A	-21 A		21 A	21 A			42 1,4	42 1,4
4	-0,9 A	-1,2 A		42 A	41 A	0,04 A		42,9 1,5	42,2 1,4
5	-12 A	-45 A		32 A	1,4 B			44 1,8	46,4 2,2
6	-0,6 A	-0,06 B		43 A	44 A	0,05 A		43,6 1,7	44 1,8
7	-6 A	-22 A		35 A	21 A			41 1,1	43 1,6
8	-1,1 A	-1,1 A		1,1 A	1,1 A	0,08 A	0,07 A	2,2 -24,3	2,2 -24,3
9	-1,6 A	-2,6 A		0,8 A	0,04 B	0,1 A	0,04 A	2,4 -23,5	2,6 -22,8
10	-1,2 A	-1,2 A		1,2 A	1,2 A	0,08 A	0,05 A	2,4 -23,5	2,4 23,5

Tabela 4. Para przewodów skręconych w ekranie PL

L.p.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$U_{pp}$	$U_{pp}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V	V	V	V
1	-0,14 A	-3,4 A		0,14 A	3,4 A	3,2 A	3,5 A	0,28 -42,2	6,8 -14,5
2	-0,14 A	-8 A		0,14 A	0,1 B	7,0 A	0,4 A	0,28 -42,2	8,1 -13
3	-0,14 A	-3,6 A		0,14 A	3,6 A	3,5 A	3,5 A	0,28 -42,2	7,2 -1,4
4	-0,14 A	-0,7 A		0,14 A	6 A	0,7 A	6 A	0,28 -42,2	6,7 -14,6
5	-0,14 A	-7,2 A		0,14 A	0,26 B	7 A	0,22 A	0,28 -42,2	7,46 -13,7
6	-0,14 A	-0,04 B		0,14 A	7,2 A	0,2 A	7,0 A	0,28 -42,2	7,2 -14
7	-0,14 A	-3,6 A		0,14 A	3,6 A	3,5 A	3,5 A	0,28 -42,2	7,2 -14
8	-0,02 A	-0,9 A		0,02 A	0,9 A	0,9 A	0,9 A	0,04 -59,1	1,8 -26
9	-0,06 A	-1,6 A		0,02 A	0,03 B	1,8 A	0,06 A	0,08 -53	1,6 -27
10	-0,02 A	-0,8 A		0,02 A	0,8 A	0,9 A	0,9 A	0,04 -59,1	1,6 -27

Tabela 5. Para przewodów skręconych w ekranie, PL

L.p.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$U_{pp}$	$U_{pp}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V	V	V / dB	V / dB
1	-44 A	-36 A		0,1 C	3,1 A		3,1 A	44 1,8	39,1 0,8
2	-44 A	-44 B		0,1 C	0,1 B		2,8 A	44 1,8	44,1 1,8
3	-44 A	-13 A		0,1 C	2,9 A		22,5 A	44 1,8	42 1,4
4	-44 A	-44 A		0,1 C	1,2 B		1,9 A	44 1,8	45,2 2,0
5	-42 A	-20 A		0,1 C	20 A		0,7 B	42 1,4	40 0,9
6	-2,6 A	-1,6 A		0,1 C	0,8 A	0,96 A	0,76 A	2,6 -22,8	2,4 -23,5
7	-2,6 A	-2,6 A		0,1 C	0,03 B		0,13 A	2,6 -22,8	2,6 -22,8
8	-2,6 A	-0,12 B		0,1 C	2,4 A	0,16 A	0,06 A	2,6 -22,8	2,52 -23
9	-2,6 A	-1,2 A		0,1 C	1,2 A	0,18 A	0,02 B	2,6 -22,8	2,4 -23,5

Tabela 6. Para przewodów kabla ekranowanego dwuparowego

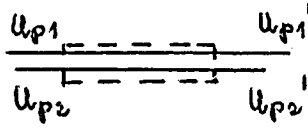
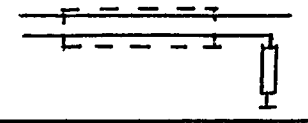
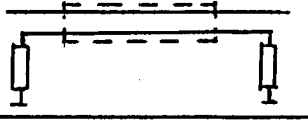
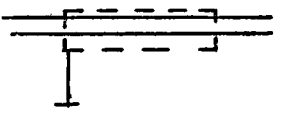
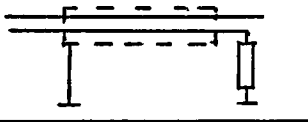
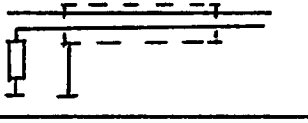
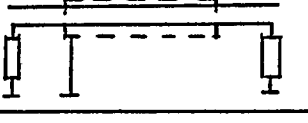
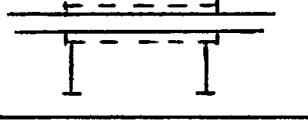
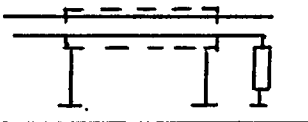
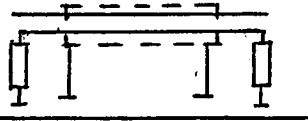
L.p	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ polaryzacji	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V	V
1	-17 A	-17 A		17 A	17 A	34 0	34 0
2	-40 A	-44 A		3,6 A	0,2 B	43,6 2,16	44,2 1,78
3	-21 A	-22 A		21 A	22 A	42 1,83	44 2,23
4	-1,2 A	-1,6 A		40 A	40 A	41,2 1,66	41,6 1,75
5	-14 A	-44 A		29 A	1,4 B	43 2,03	45,4 2,51
6	-0,8 A	-0,06 B		42 A	44 A	42,8 1,99	44 2,23
7	-7 A	-21 A		33 A	21 A	40 1,41	42 1,83
8	-1,6 A	-1,6 A		1,6 A	1,6 A	3,2 -20,5	3,2 -20,5
9	-2,4 A	-3,7 A		1,1 A	0,06 B	3,5 -19,7	3,7 -19,3
10	-1,5 A	-1,5 A		1,5 A	1,5 A	3,0 -21,1	3,0 -21,1

Tabela 7. Para przewodów kabla ekranowanego dwuparowego

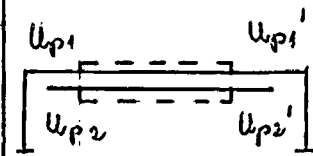
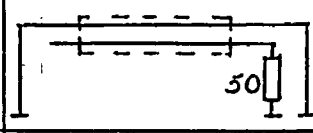
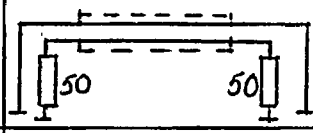
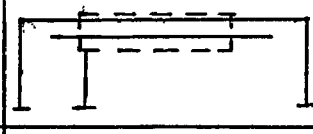
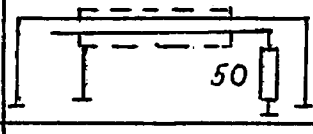
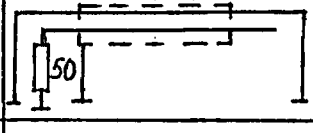
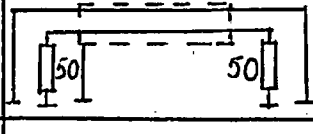
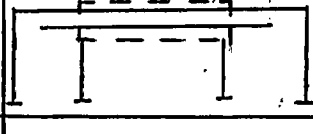
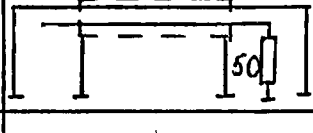
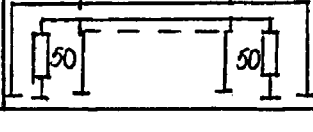
L.p.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V / dB	V / dB
1	-0,12 A	-4,5 A		0,12 A	4,5 A	0,24 -43	4,62 -17,3
2	-0,12 A	-9 A		0,13 A	0,12 B	0,25 -42,6	9,1 -11,4
3	-0,13 A	-5 A		0,13 A	5 A	0,26 -42,3	10 -10,6
4	-0,15 A	-1 A		0,13 A	8,5 A	0,28 -41,6	9,5 -11,1
5	-0,12 A	-9 A		0,12 A	0,3 B	0,24 -43	9,3 -11,2
6	-0,15 A	-0,06 B		0,13 A	10 A	0,28 -41,7	10 -10,6
7	-0,14 A	-5 A		0,12 A	5 A	0,26 -42,3	10 -10,6
8	-0,04 A	-1,1 A		0,04 A	1,1 A	0,08 -52,6	2,2 -23,8
9	-0,07 A	-2,6 A		0,04 A	0,04 B	0,11 -49,8	2,6 -22,3
10	-0,04 A	-1,2 A		0,04 A	1,2 A	0,08 52,6	2,4 -23



Tabela 8. Para pnerodów kabla ekranowanego dwuparowego

Lp.	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$\Delta U_{p1}$	$\Delta U_{p2}$
	V	V		V	V	V	V
						dB	dB
1	-44 A	-36 A		0,1 C	3,6 A	44 2,23	39,6 1,32
2	-44 A	-44 A		0,1 C	0,1 B	44 2,23	44 2,23
3	-40 A	-20 A		0,1 C	20 A	40 1,41	40 1,41
4	-44 A	-14 A		0,1 C	28 A	44 2,23	42 1,84
5	-40 A	-20 A		0,1 C	20 A	40 1,41	40 1,41
6	-3,6 A	-2,4 A		0,1 C	1,2 A	3,6 -19,5	3,6 -19,5
7	-3,6 A	-3,6 A		0,1 C	0,1 C	3,6 -19,5	3,6 -19,5
8	-3,6 A	-0,14 B		0,1 C	3,6 A	3,6 -19,5	3,6 -19,5
9	-3,6 A	-1,8 A		0,1 C	1,8 A	3,6 -19,5	3,6 -19,5

Tabela 9. Kabel współosiowy WL 50-0,96/2,95

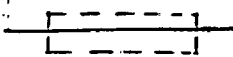
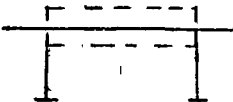
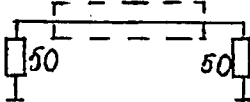
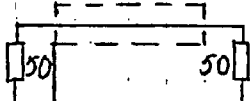
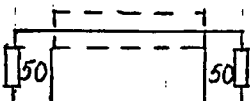
	$U_p$	$U_E$	Układ połączeń	$U_{p'}$	$U_{E'}$	$\frac{U_{p'}}{U_{p1}}$	$\frac{U_{E'}}{U_{E1}}$
	V	V		V	V	dB	dB
1	7,2	10		7,2	10	0	0
2	0,0015	0,008		0,006	0,0015	-73,6	-61,58
3	0,22	6,4		0,22	6,4	-30,3	-30,3
4	0,036	0,012		0,036	0,10	-46,02	-46,02
5	0,0025	0,008		0,0025	0,008	-69,18	-69,18

Tabela 10. Para przewodów skręconych

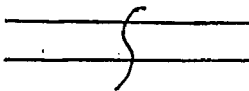
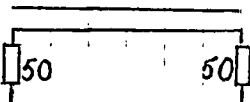
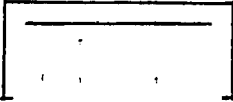
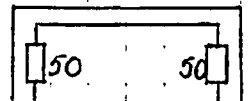
	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Układ połączeń	$U_{p1'}$	$U_{p2'}$	$\frac{U_{p2'}}{U_{p1}}$	$\frac{U_{p2'}}{U_{p2'}}$
	V	V		V	V	dB	dB
1	9,6	10		9,6	10	0,3	0
2	0,9	4		0,9	4	-20,56	-7,95
3	3,2	0,1		3,2	0,1	-9,54	-40
4	0,06	0,0025		0,06	0,0025	-44,08	-72,04

Tabela 11. Para przewodów skracanych w ekranie PL

	$U_{p1}$	$U_{p2}$	Wzrost potencjału	$U_{p1}'$	$U_{p2}'$	$\frac{U_{p1}'}{U_{p1}}$	$\frac{U_{p2}'}{U_{p2}}$
	V	V		V	V	dB	dB
1	4,8	4,5		4,8	4,5	0	0
2	0,075	3,2		0,075	3,2	-36,12	6,32
3	0,04	0,002		0,04	0,002	-41,58	-67,04
4	0,005	0,0025		0,005	0,005	-59,65	-59,08
5	0,0035	0,0035		0,0035	0,0035	-62,74	-62,18
6	0,003	0,003		0,003	0,003	-64,08	-63,52
7	0,004	0,005		0,004	0,005	-61,58	-59,08
8	0,0045	0,004		0,0045	0,004	-60,56	-61,02