

BIULETYN

INFORMACYJNY

**INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**



1998

1

**BIULETYN
INFORMACYJNY
INSTYTUTU
ŁĄCZNOŚCI**

ROK 38

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

NR 1(354)

WARSZAWA 1998

Komitet Redakcyjny
Redaktor Naczelny: dr inż. Krystyn Plewko
Z-ca Redaktora Naczelnego: doc. dr inż. Alina Karwowska-Lamparska
Redaktorzy Działowi:
doc. dr inż. Włodzimierz Barjasz
dr inż. Stanisław Sońta
inż. Maria Łopuszniak

© Copyright by Instytut Łączności, Warszawa 1998

ISSN 0209-1046

Redaktor: mgr Krystyna Juskiewicz

Skład komputerowy: Barbara Skwara

Instytut Łączności, Ośrodek Informacji Naukowej i Normalizacji
ul. Szachowa 1, 04-894 Warszawa

Walenty Suszyński

**STANOWISKO DO POMIARÓW EMISJI ZAKŁÓCEŃ
I ODPORNOŚCI NA ZAKŁÓCENIA W KOMORZE GTEM**

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	5
2. Krótka historia rozwoju GTEM	6
3. Stanowisko do pomiaru odporności urządzeń na pola zakłócające	14
4. Procedura pomiaru odporności urządzeń na ciągłe zakłócające pola elektromagnetyczne w komorze GTEM	21
5. Stanowisko do pomiaru w komorze GTEM natężenia pola emitowanych zakłóceń radioelektrycznych	25
5.1. Procedura pomiaru emisji zakłóceń radioelektrycznych w komorze GTEM	26
5.2. Podstawowe kroki algorytmu korelacyjnego, umożliwiającego obliczenie maksymalnych wartości natężenia pola z wartości zmierzonych w komorze GTEM	28
5.3. Przykładowe normy CISPR pamiętane w zbiorze STANDARD.DAT	29
6. System wizualizacji i archiwizacji badanych urządzeń	29

STANOWISKO DO POMIARÓW EMISJI ZAKŁÓCEŃ I ODPORNOŚCI NA ZAKŁÓCENIA W KOMORZE GTEM

1. WSTĘP

Zgodnie z większością obowiązujących norm (zarówno krajowych, jak i międzynarodowych) pomiary natężenia pola zakłóceń od różnorodnych urządzeń wykonuje się na specjalnie przygotowanym polu pomiarowym, które musi spełniać wiele warunków zapewniających poprawność i powtarzalność takich pomiarów.

Pole pomiarowe, zwane także poligonem pomiarowym, oprócz swojej podstawowej zalety, jaką jest duża zgodność z modelem teoretycznym, ma też istotne ograniczenia, wynikające z:

- warunków pogodowych (możliwość przeprowadzania pomiarów tylko w pogodne dni w sezonie letnim),
- czasu wykonywania pomiarów (pomiarów można wykonywać tylko przy świetle dziennym),
- wpływu zewnętrznych sygnałów (konieczność stałej obserwacji stanu elektromagnetycznego środowiska zewnętrznego, np. stacji radiowych i telewizyjnych, układów zapłonowych środków transportowych itp.).

Z tego względu coraz częściej stosuje się alternatywne stanowiska pomiarowe budowane w zamkniętych pomieszczeniach. Jednym z takich rozwiązań jest komora GTEM (*Gigahertz Transverse Electro Magnetic*).

Oddział Instytutu Łączności we Wrocławiu ma komorę GTEM 1500 (produkt firmy MEB, Niemcy), która umożliwia wykonywanie pomiarów natężenia pola zakłóceń oraz odporności na zakłócenia dla większości urządzeń powszechnego użytku o wymiarach do 80 cm (lub nawet do 110 cm, jeśli jest to wymiar dominujący).

W artykule opisano stanowiska pomiarowe przeznaczone do pomiarów natężenia pola zakłóceń radioelektrycznych oraz odporności na zakłócające pola elektromagnetyczne w odniesieniu do urządzeń powszechnego użytku, sprzętu informatycznego oraz urządzeń telekomunikacyjnych z wykorzystaniem komory GTEM.

2. KRÓTKA HISTORIA ROZWOJU GTEM

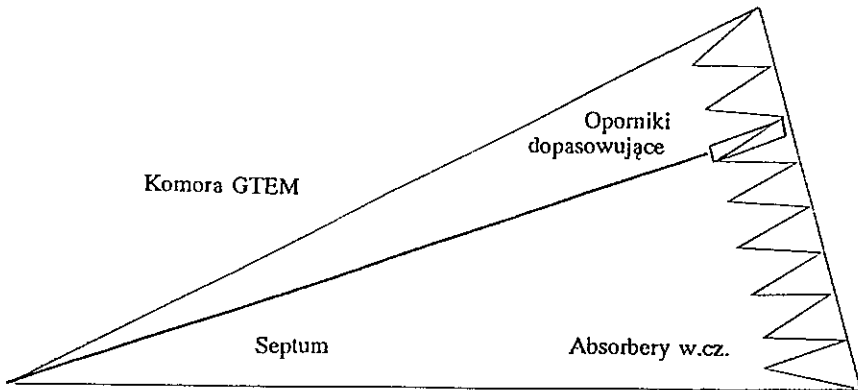
Komora GTEM została skonstruowana w 1984 r. przez zespół D. Hansena dla firmy BBC/ABB jako symulator elektromagnetycznego impulsu nuklearnego NEMP. Jednakże, wskutek braku zainteresowania firmy tym zagadnieniem (zmiany w sytuacji geopolitycznej), urządzenie stopniowo rozbudowywano tak, aby w coraz większym stopniu spełniało wymagania badań EMC (1985-1988).

W tym czasie skutecznie promowano urządzenie na wszystkich znaczących międzynarodowych sympozjach EMC [1, 2, 5 ÷ 10] i doprowadzono do uznania komory GTEM oraz metod pomiarowych, które ona umożliwiła, za akceptowalne jako quasi-standard.

W 1991 r. firma EMCO sprzedała pierwszą komorę. W ten sposób w okresie od 1984 r. do 1991 r. doprowadzono od pomysłu do produktu handlowego w skali międzynarodowej.

Idea komory GTEM jest prosta. Linia koncentryczna z dielektrykiem powietrznym, od złącza koncentrycznego, stopniowo przechodzi w ostrosłup piramidalny. Środkowy przewód linii (*septum*) stopniowo przechodzi w płaski pas zakończony opornikami dopasowującymi do impedancji falowej 50Ω (rys. 1). Wewnętrzny przewód jest umieszczony asymetrycznie wewnątrz komory o prostokątnym przekroju. Uzyskano w ten sposób możliwie dużą objętość testową w komorze ograniczonej wymiarami zewnętrznymi.

Doprowadzenie sygnału w.cz. do tak zmodyfikowanej linii koncentrycznej powoduje, że między przewodem środkowym (*septum*)



Rys. 1. Schematyczny przekrój podłużny komory GTEM

a dolną powierzchnią komory powstaje pole elektryczne i magnetyczne o bardzo dobrej jednorodności w dużej objętości oraz szerokim zakresie częstotliwości. Zewnętrzna obudowa komory, wykonana z wielowarstwowych arkuszy blachy znakomicie ekranuje wnętrze komory od wpływów pól zewnętrznych.

Zrealizowanie tej prostej idei wymagało rozwiązania wielu problemów konstrukcyjnych i teoretycznych. Podstawowym zagadnieniem było uzyskanie impedancji dopasowania w szerokim zakresie częstotliwości. Rozwiązano je przez zastosowanie hybrydowego opornika dopasowującego. Jego konstrukcja polega na obciążeniu septum specjalną strukturą oporową, która zapewnia dopasowanie w zakresie od kiloherców do kilkudziesięciu megaherców. Impedancja tej struktury stopniowo zanika ze wzrostem częstotliwości (dla zakresu częstotliwości od 40 do 90 MHz). Jej rolę przejmują umieszczone na tylnej ścianie komory GTEM absorbery energii elektromagnetycznej. W zakresie częstotliwości, w którym pochłanianie energii strukturą oporową i absorber nie ma pełnego dopasowania, współczynnik fali stojącej WFS wzrasta do wartości 1 : 1,8. W pozostałym zakresie częstotliwości jego wartość jest mniejsza od 1,2.

Wykorzystując zasadę inwersji (zamianę źródła i odbiornika), komora może być stosowana do pomiaru natężenia pola zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez badane urządzenia.

Ponieważ wszystkie normy i zalecenia odnoszą się do poligonu pomiarowego i ustalonych odległości, powstał problem powiązania wyników uzyskanych z pomiarów w komorze GTEM z wartościami uzyskiwanymi na poligonie pomiarowym (dla tego samego urządzenia).

Decydujący wkład w rozwiązanie tego problemu wniosły prace P. Wilsona [8 ÷ 10]. Podstawowe założenie Wilsona polega na stwierdzeniu, że każde urządzenie o małych wymiarach (względem długości fali), promieniujące fale elektromagnetyczne, można zastąpić równoważnymi dipolami, które w otoczeniu tego urządzenia wytwarzają, z wystarczającą dokładnością, takie samo pole jak samo urządzenie [4, 9]. To z kolei umożliwia określenie charakterystyk promieniowania urządzenia w swobodnej przestrzeni i nad przewodzącą ziemią, łącznie z symulacją pomiaru emisji na otwartym polu, zgodnie z odpowiednimi normami. Po wykonaniu pomiarów natężenia pola w trzech wzajemnie prostopadłych położeniach badanego urządzenia w komorze GTEM można obliczyć moc całkowitą promienioną przez to urządzenie oraz maksymalne wartości natężenia składowych pola elektrycznego (poziomej i pionowej) w dowolnym punkcie otaczającym urządzenie.

Obliczenia wykonane według zależności zaproponowanych przez Wilsona uwzględniają wymiary geometryczne komory GTEM (współczynniki konwersji komory) oraz normowane parametry, stosowane przy pomiarach natężenia pola na poligonie pomiarowym:

- wysokość umieszczenia badanego urządzenia nad przewodzącą ziemią,
- wysokość zawieszenia anteny pomiarowej,
- odległość anteny pomiarowej od badanego urządzenia (zgodnie z normą: 3 m, 10 m, 30 m).

Dla tych samych urządzeń wyniki uzyskane z pomiarów w komorach GTEM oraz z pomiarów na poligonie były wielokrotnie porównywane (dotychczas na świecie zainstalowano więcej niż 300 komór GTEM). W zakresie częstotliwości od 30 MHz do 1 GHz uzyskano zgodności lepsze niż wymagane przez normy na zakłócenia radioelektryczne.

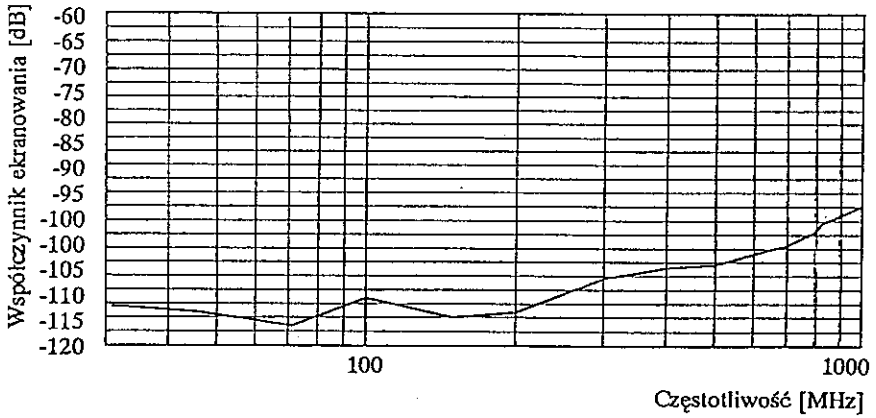
Jedną z podstawowych właściwości komory GTEM jest ograniczenie wpływu zakłóceń radioelektrycznych otoczenia na wyniki pomiaru. Do osiągnięcia tego celu przy konstrukcji komory wzięto pod uwagę następujące środki:

- dobór materiałów na obudowę komory i połączenia oraz sposób jej łączenia z pozostałymi elementami stanowiska pomiarowego;
- uszczelnienie elektromagnetyczne drzwi, okien, wlotów i wylotów powietrza w pomieszczeniu, w którym umieszczono stanowisko pomiarowe;
- filtrację wszystkich elektrycznych sygnałów w.cz. i zasilających wchodzących do wnętrza komory.

Pomiary skuteczności ekranowania komory GTEM są wykonywane w ten sposób, że wewnętrzny przewód komory jest zasilany sygnałem w.cz. Miernikiem natężenia pola, umieszczonym na zewnątrz komory, jest mierzone pole we wszystkich krytycznych miejscach pomieszczenia: połączeniach, oknie, drzwiach, wlotach i wylotach powietrza. Stosunek natężenia pola wewnątrz komory (wynikający z wartości doprowadzonego napięcia) do zmierzonej miernikiem wartości pola zewnętrznego wyraża skuteczność ekranowania. Na rys. 2 pokazano zależność skuteczności ekranowania komory w funkcji częstotliwości.

Impedancja wzdłuż komory GTEM, od wejścia koncentrycznego do obciążenia septum, została zmierzona metodą odbiciową (TDR), a uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 3.

Podstawowe parametry techniczne komory GTEM ujęto w tablicy 1.



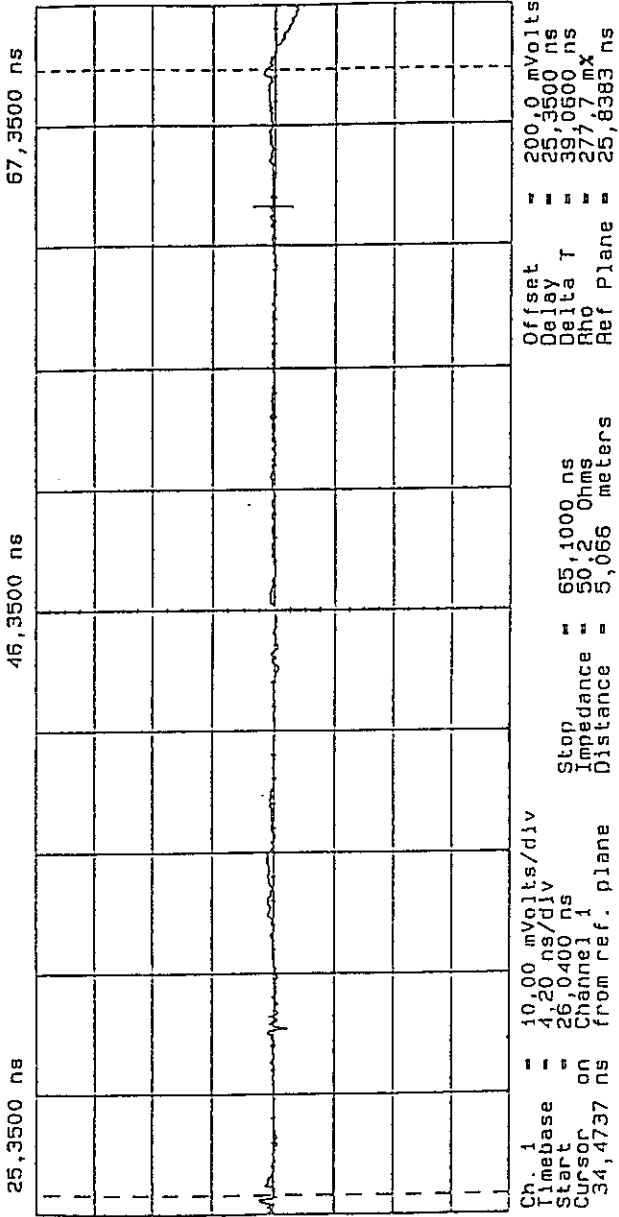
Rys. 2. Zależność skuteczności ekranowania składowej elektrycznej w komorze w funkcji częstotliwości

Tablica 1

Podstawowe parametry techniczne komory GTEM

Parametry mechaniczne	
Typ komory	MEB 1500
Wymiary zewnętrzne	6,95 x 3,58 x 2,55 m
Wymiary drzwi	0,96 x 1,30 m
Wentylatory	3 szt.
Okno (do obserwacji badanego urządzenia)	100 x 300 mm
Maksymalne obciążenie podłogi	250 kg (badane urządzenie + personel)

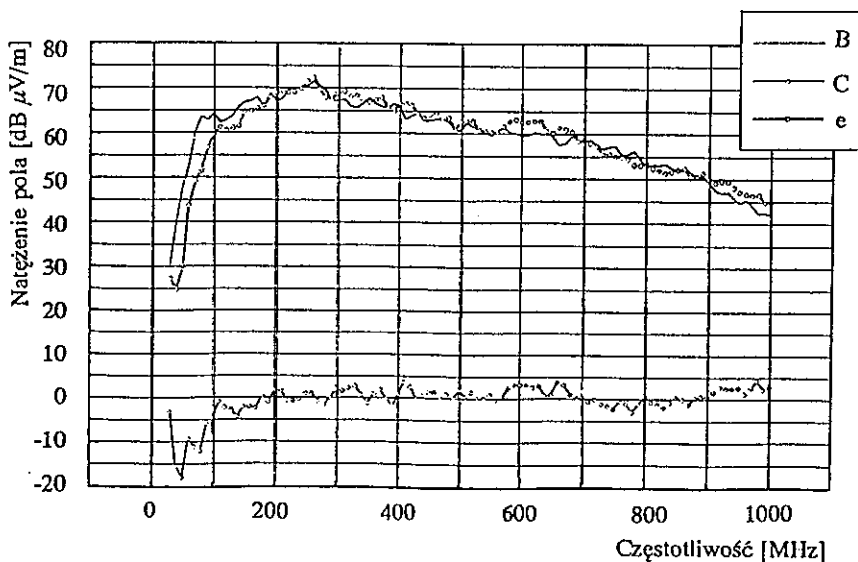
Parametry radioelektryczne	
Typ złącza	7/16
Nominalna impedancja	50 Ω
Zakres częstotliwości	10 kHz ÷ 18 GHz
Współczynnik fali stojącej	1 : 1,2 (1,8)
Definiowana objętość pomiarowa (dokładna)	85 x 85 x 45 cm
Maksymalna objętość pomiarowa	111 x 111 x 99 cm
Maksymalna moc wejściowa	1000 W
Skuteczność ekranowania (> 10 kHz / > 10 MHz)	> 50 / > 100
Parametry dla nominalnej wysokości septum	
Wysokość septum nad dolną płaszczyzną	136 cm
Wysokość badanego urządzenia (BU)	45 cm
Szerokość komory pod nominalną wysokością komory	274 cm
Uwagi: <ul style="list-style-type: none"> - definiowana objętość pomiarowa jest podana dla nierównomierności natężenia pola ≤ 2 dB; - maksymalna objętość pomiarowa jest podana dla nierównomierności natężenia pola ≤ 4 dB. 	



Rys. 3. Impedancja komory GTEM wzdłuż jej długości (znaczniki - linie przerywane, wskazujące miejsca złącza wejściowego i zakończenia septum)

● **Korelacja wyników uzyskanych na polu pomiarowym i w komorze GTEM**

Wszystkie normy i zalecenia dopuszczalnych poziomów zakłóceń radioelektrycznych odnoszą się do otwartego pola i ustalonych odległości (AOTS). Powiązanie wyników uzyskanych z pomiarów w komorze GTEM z wartościami uzyskiwanymi na polu pomiarowym (dla tego samego urządzenia) pokazano na rys. 4. Widać na nim, że wyniki w komorze mają wartości nieco większe od uzyskiwanych na polu pomiarowym (zauważają to autorzy prawie wszystkich publikacji). Sądzi się, że jest to korzystne, bowiem urządzenia, które spełnią wymagania normy w komorze, spełniają je też na polu pomiarowym.



Rys. 4. Porównanie wartości natężenia pola zmierzonego od generatora kalibracyjnego na kalibracyjnym polu pomiarowym i w komorze GTEM

B - natężenie pola zmierzone w komorze (det AV); e - natężenie pola zmierzone na polu pomiarowym (kalibracyjnym); C - różnice wyników

3. STANOWISKO DO POMIARU ODPORNOŚCI URZĄDZEŃ NA POLA ZAKŁÓCAJĄCE

Natężenia pola elektrycznego E w komorze GTEM jest opisane wzorem:

$$E = \frac{U}{h},$$

gdzie:

U - napięcie na przewodzie centralnym (septum),

h - wysokość septum nad dolną płaszczyzną komory.

Ogólnie, napięcie U na septum dla komory jest opisywane zależnością:

$$U = \sqrt{PR},$$

a stąd natężenie pola:

$$E = \frac{1}{h} \sqrt{PR},$$

gdzie:

E - natężenie pola [V/m],

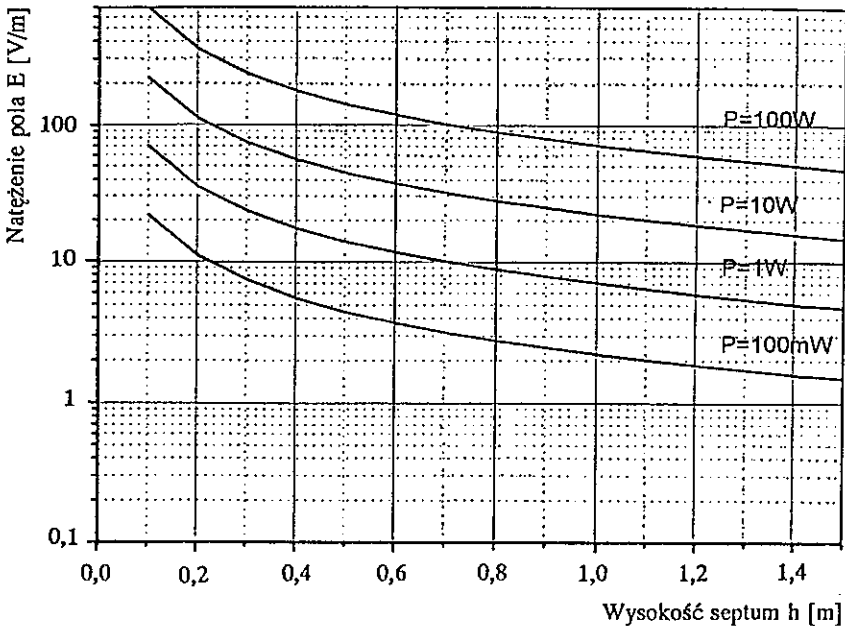
P - moc doprowadzona do komory [W],

R - oporność falowa komory [50 Ω].

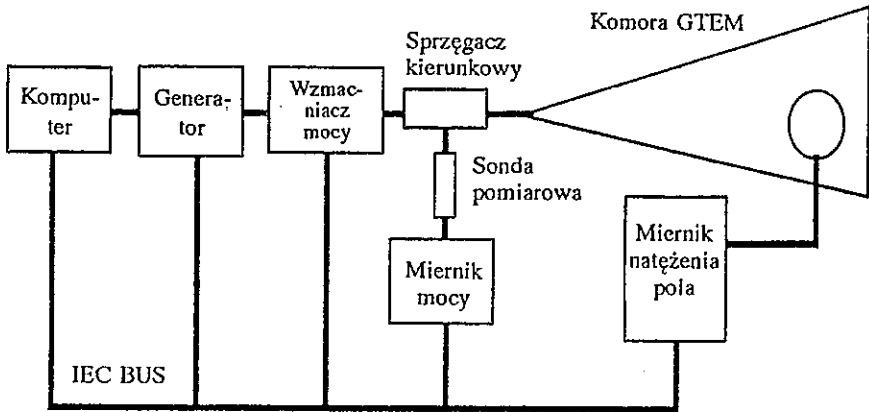
Zależność natężenia pola od wysokości septum nad dolną płaszczyzną komory dla różnych mocy doprowadzanych do komory GTEM pokazano na rys. 5. Zależności na tym wykresie są słuszne dla idealnej, teoretycznej komory GTEM. Stanowisko do pomiaru odporności urządzeń zawiera rzeczywiste urządzenia i elementy, których parametry należy uwzględnić do określenia z dostateczną dokładnością natężenia pola w komorze.

Znajdujące się w Instytucie Łączności we Wrocławiu stanowisko do pomiaru odporności urządzeń składa się z elementów jak na rys. 6 i zawiera:

- komorę GTEM 1500,
- sprzęgacz kierunkowy RK100,
- miernik mocy NRVS z sondą termoelektryczną NRV-Z51,
- wzmacniacz mocy SMX100,
- generator sygnałowy SMG,
- izotropową sondę do pomiaru natężenia pola HI-4422,
- komputer sterujący PC-AT z kartą interfejsu IEEE488 z dwoma monitorami oraz drukarką HP Laser Jet 4L,
- oprogramowanie specjalistyczne do pomiaru odporności SUSCEPT,
- system wizualizacji i dokumentowania pomiarów (kolorowa kamera telewizyjna oraz monitor, komputer do zapamiętywania obrazów i specjalistyczne oprogramowanie).



Rys. 5. Zależność natężenia pola od wysokości septum dla różnych mocy doprowadzanych do komory



Rys. 6. Stanowisko do pomiaru odporności urządzeń na zakłócenia z komorą GTEM

Uwzględniając rzeczywiste parametry stanowiska do pomiaru odporności urządzeń, zależność na natężenie pola w komorze z wystarczającą dokładnością można zapisać następująco:

$$E = \frac{50 K}{h} \sqrt{P_m D F_{th} (1 - |\Gamma|^2)} \quad ,$$

gdzie:

- E - natężenie pola w komorze [V/m],
- K - współczynnik poprawkowy komory, zależny od położenia badanego urządzenia w komorze i częstotliwości pomiarowej,
- h - wysokość septum nad dolną płaszczyzną komory,
- P_m - moc z generatora doprowadzona do sprzęgacza kierunkowego przed komorą i mierzona miernikiem mocy [W],
- D - współczynnik poprawkowy strat wtrąconych sprzęgacza kierunkowego,
- F_{th} - współczynnik poprawkowy termoelektrycznej sondy miernika mocy,

Γ - współczynnik odbicia komory GTEM, zależny od dokładności wykonania tej komory i jej wypełnienia oraz częstotliwości.

Powyższa zależność jest liczona dla komory o impedancji falowej komory równej 50Ω .

Współczynnik poprawkowy termoelektrycznej sondy miernika mocy (F_{th}) jest zależny od temperatury otoczenia oraz częstotliwości i jest pamiętany w pamięci nieulotnej znajdującej się w sondzie. Jest on wprowadzany automatycznie do wyniku pomiaru mocy. Współczynnik ten jest wprowadzany do tej pamięci w czasie uwierzytelniania miernika mocy.

Pozostałe współczynniki poprawkowe są pamiętane w odpowiednich zbiorach w postaci tabel poprawek i są wprowadzane przez program sterujący pracą stanowiska (SUSCEPT) przy pomiarze odporności urządzenia.

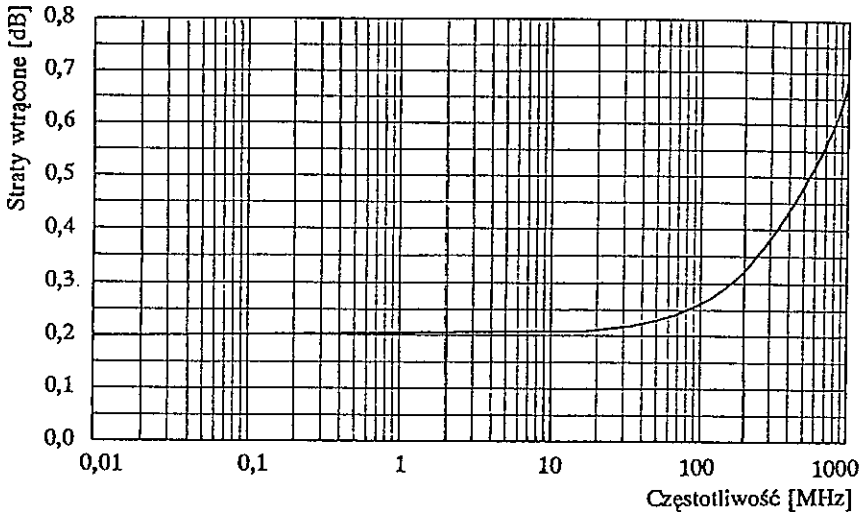
Współczynnik poprawkowy strat wtrąconych sprzęgacza kierunkowego (D) jest ustalany przy uwierzytelnianiu sprzęgacza kierunkowego i jest pamiętany w zbiorze poprawek. Zależność strat wtrąconych od częstotliwości dla sprzęgacza kierunkowego RK100 przedstawiono na rys. 7.

Natomiast zależność współczynnika sprzężenia od częstotliwości dla sprzęgacza kierunkowego RK100 podano na rys. 8.

Programowane wzmocnienie mocy dla pola o natężeniu 10 V/m w komorze GTEM pokazano na rys. 9. Wartości do tego wykresu zostały pobrane z odpowiedniego zbioru kalibracyjnego. Współczynnik poprawkowy (K) i współczynnik odbicia (Γ) są ustalone przy kalibracji komory w laboratorium IŁ z wykorzystaniem wzorcowej izotropowej sondy do pomiaru natężenia pola i są wprowadzane do odpowiedniego zbioru poprawek.

Do osiągnięcia wartości 10 V/m natężenia pola dla nominalnej wysokości septum jest wymagane określone wzmocnienie wzmacniacza mocy SMX100, jak to zilustrowano na rys. 10. Wartości do tego wykresu zostały pobrane ze stosownego zbioru, który jest wytwarzany

podczas kalibracji komory przez program SUSCEPT (po wygrzaniu wszystkich przyrządów stanowiska pomiarowego).

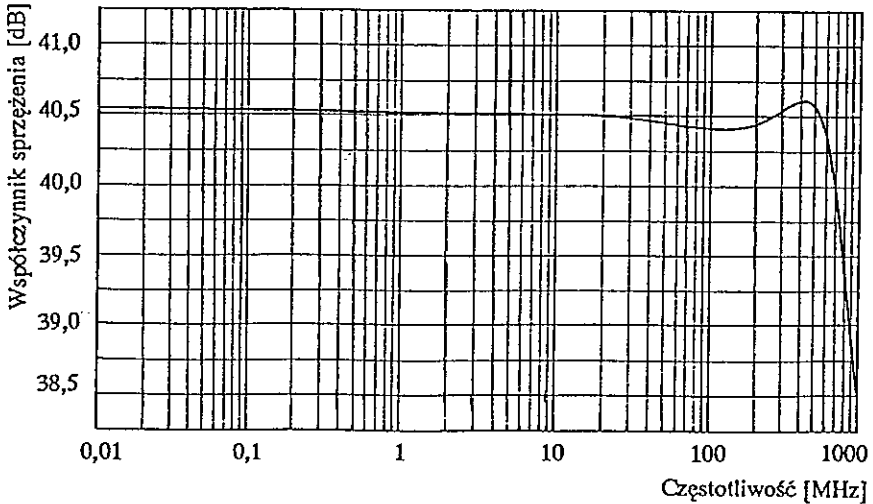


Rys. 7. Zależność strat wtrąconych od częstotliwości dla sprzęgacza kierunkowego RK100

Natężenie pola powstające między septum i dolną płaszczyzną komory jest ściśle zależne od mocy sygnału w.cz. doprowadzonego do komory. Jednakże rozkład natężenia pola pod septum nie jest jednorodny i zależy zarówno od położenia sprzętu w komorze, jak i od wypełnienia sprzętem tej komory.

Przy określaniu jednorodności natężenia pola przyjmuje się jako punkt odniesienia punkt, znajdujący się w połowie wysokości septum nad dolną płaszczyzną komory oraz w połowie szerokości komory (oznaczony w septum na niebiesko). Względem tego punktu mierzy się sondą izotropową rozkład natężenia pola w strukturze 4 * 4 punktów (przy stałej mocy doprowadzonej do komory). Na podstawie tak uzyskanych wyników tworzy się pionowy rozkład natężenia pola (kontury odchyłek wyznacza się dla ± 1 dB, ± 2 dB, ± 3 dB, ± 4 dB).

Na podstawie wymiarów tych konturów określa się dopuszczalne wymiary objętości testowych (maksymalnych wymiarów badanych urządzeń).



Rys. 8. Zależność współczynnika sprzężenia od częstotliwości dla sprzęgacza kierunkowego RK100

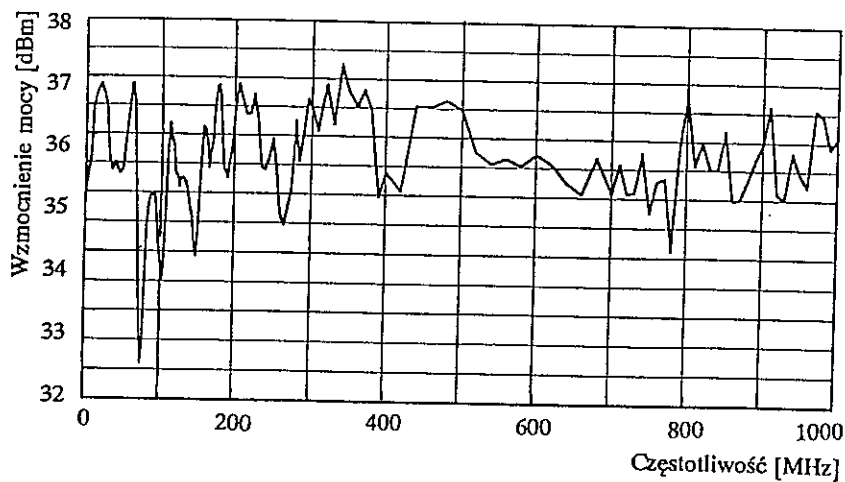
W specyfikacjach komór GTEM producenci wymieniają dwa wymiary objętości testowych:

- dokładną objętość testową (nierównomierność natężenia pola ± 2 dB),
- maksymalną objętość testową (nierównomierność natężenia pola ± 4 dB).

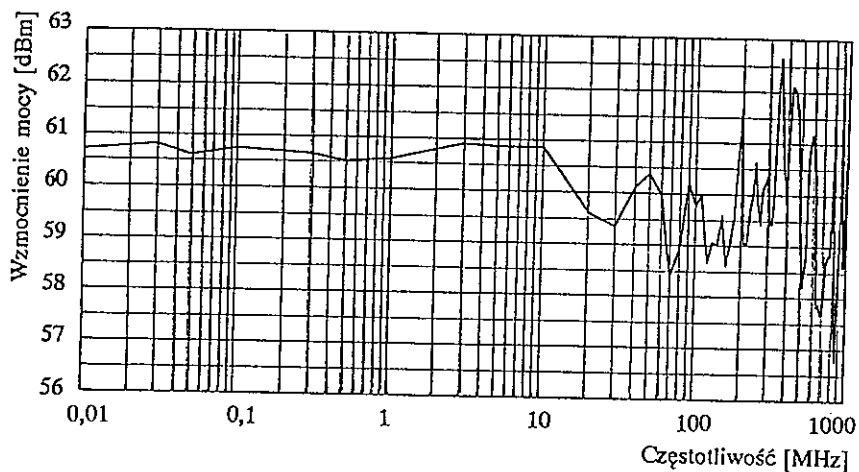
Objętości testowe są podawane dla pustych komór.

Wprowadzenie do komory badanych urządzeń zmienia rozkład natężenia pola tylko w nieznacznym stopniu (urządzenie o wymiarach odpowiadających maksymalnej objętości testowej zmienia rozkład natężenia pola o mniej niż 1,5 dB).

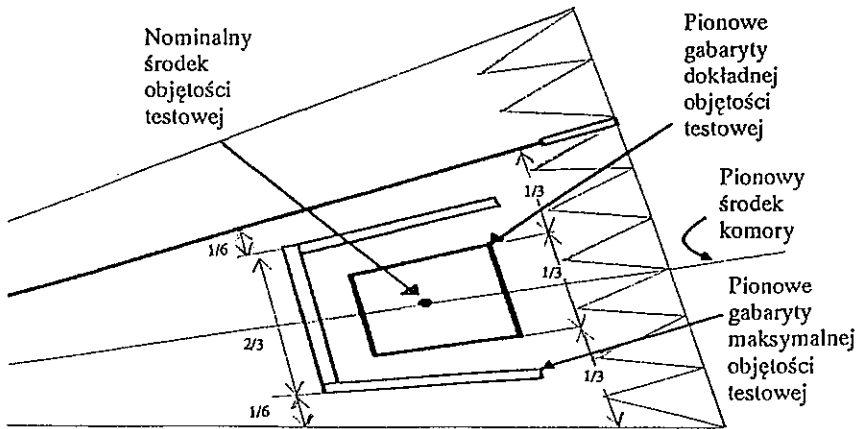
Na rys. 11 pokazano w przekroju podłużnym położenia objętości testowych w komorze.



Rys. 9. Programowane wzmocnienie mocy dla pola o natężeniu 10 V/m w komorze GTEM



Rys. 10. Wynikowe wzmocnienie wzmacniacza mocy SMX100, zapewniające natężenie pola 10 V/m oraz uwzględniające stosowne współczynniki poprawkowe



Rys. 11. Objętości testowe komory GTEM (widok z boku)

4. PROCEDURA POMIARU ODPORNOŚCI URZĄDZEŃ NA CIĄGLĘ ZAKŁÓCAJĄCE POLA ELEKTROMAGNETYCZNE W KOMORZE GTEM

Wymagane poziomy odporności urządzeń na pola elektromagnetyczne ciągłe są regulowane przez normy IEC 801-3, EN 50081-1, EN 55024 i normy podmiotowe. Wymagane odporności dzieli się na cztery poziomy umowne podane w tablicy 2.

Tablica 2

Umowne poziomy natężenia pola
elektrycznego

Poziom	Natężenie pola [V/m]
1	1
2	3
3	10
4	specjalne

Komora GTEM 1500 dopuszcza maksymalną moc 1000 W. Oznacza to, że maksymalne napięcie na septum może wynosić 223 V, a maksymalne natężenie pola w nominalnym punkcie komory może osiągać 164 V/m. Jednakże stanowisko do pomiaru odporności na pola elektromagnetyczne w Instytucie Łączności we Wrocławiu ma wzmacniacz o mocy maksymalnej 100 W (SMX100), co umożliwia uzyskanie w nominalnym punkcie komory tylko 51 V/m (dla urządzeń o maksymalnych wymiarach). Dla urządzeń o mniejszych wymiarach można uzyskać zwiększenie natężenia pola przez ich przesunięcie w kierunku złącza wejściowego.

Pomiary odporności są wykonywane w pasmie od 27 MHz do 1000 MHz i są podawane w normie podmiotowej lub uzgadniane ze zleceniodawcą. Etapy procedury pomiarowej obejmują:

- rozpoznanie obiektu badań,
- wybranie i zestawienie stanowiska pomiarowego,
- wykonanie pomiarów odporności badanego obiektu w całym pasmie częstotliwości,
- opracowanie protokołu badań.

Etapy te są analogiczne do pomiarów wykonywanych w klatce Faradaya, z wyjątkiem sposobu wykonania pomiarów, który jest właściwy dla komory GTEM.

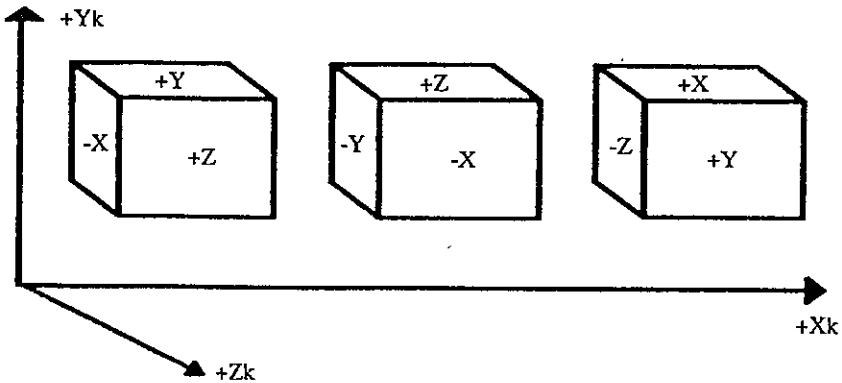
Komora GTEM (firmy MEB) została kupiona łącznie z oprogramowaniem specjalistycznym do pomiaru odporności urządzeń na pola elektromagnetyczne - SUSCEPT. Oprogramowanie to zawiera następujące zbiory podstawowe:

- suscept.exe - program sterujący pomiarem odporności,
- config.equ - zbiór opisujący konfigurację stanowiska pomiarowego,
- config.\$\$\$ - zbiór opisujący obecne nastawy parametrów pomiarowych,
- 29610V.mmr - zbiór współczynników poprawkowych komory GTEM,

- ko10581.dat - zbiór współczynników poprawkowych sprzęgacza kierunkowego RK100,
 a_smx100.dat - zbiór współczynników poprawkowych wzmacniacza mocy SMX100.

Wykonanie pomiarów w komorze GTEM wymaga dołączenia stanowiska i jego wygrzewania przez minimum 30 minut. Następnie należy wykonać niżej podane czynności.

- Umieścić badane urządzenie (*BU*) w środku objętości testowej komory i zorientować osie *BU* z osiami komory GTEM (orientację osi badanego urządzenia pokazano na rys. 12), a następnie zamknąć komorę.



Rys. 12. Orientacja osi badanego urządzenia względem osi komory GTEM (widok od złącza wejściowego w kierunku na absorbery - współrzędne komory: X_k, Y_k, Z_k)

- Uruchomić oprogramowanie testujące *SUSCEPT*.
- Z głównego menu wybrać pole *EUT* (badane urządzenie). W pojawiającym się menu wprowadzić: nazwę urządzenia, nazwisko operatora, komentarz dotyczący urządzenia, wysokość septum.
- Z głównego menu wybrać pole *Source* (źródło sygnału) i ustawić:

- sposób regulacji doprowadzanej mocy - wybrać "open loop" - sterowanie bezpośrednie;
 - rodzaj modulacji (do pomiarów odporności jest wymagana modulacja AM 1 kHz 80%).
5. Z głównego menu wybrać pole *Ranges* (zakresy) i ustawić zakres aktywny (*active range*), a w nim:
 - częstotliwości początkową i końcową oraz przyrost częstotliwości (logarytmiczny lub liniowy),
 - natężenie pola,
 - czas pojedynczego pomiaru (czas musi być zgodny z wymaganiami normy i wystarczający do zaobserwowania reakcji urządzenia na wpływ pola).
 6. Z głównego menu wybrać pole *File* (zbiory) i zapamiętać zestaw parametrów testu do ich ponownego użycia przez wybór wiersza *Save config*.
 7. Z głównego menu wybrać pole *Run*, a następnie wybrać pomiar dla pozycji $X(Y, Z)$ ustawienia *BU*.

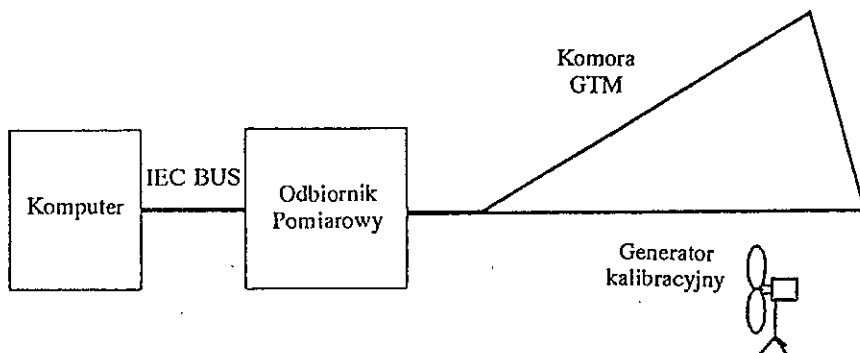
Rozpoczyna się wtedy pomiar dla ustawienia *BU* w pozycji $X(Y, Z)$ automatycznie sterowany przez program *SUSCEPT*. **Przez baczna obserwację badanego urządzenia w komorze (wspomagane systemem wizualizacji) oraz współpracującego z urządzeniem sprzętu należy ustalić zakresy częstotliwości, w których urządzenie ewentualnie działa niewłaściwie. Jeśli w czasie tego pomiaru wystąpią objawy wadliwego działania urządzenia, należy szczegółowo zbadać zarówno zakres częstotliwości, jak i poziom natężenia pola, dla którego te objawy nie występują. Szczegółowy opis tych objawów oraz zakresy częstotliwości i natężenia pola należy umieścić w protokole pomiarów.**
 8. Po zakończeniu pomiaru w tej pozycji *BU* należy otworzyć komorę *GTEM* i zapamiętać - za pomocą systemu archiwizacji - obraz *BU* ze szczegółowym uwidocznieniem położenia kabli zasilających

i sygnałowych, a następnie zmienić ustawienie *BU* do następnego pomiaru.

9. Powtórzyć punkty 7 i 8 procedury pomiarowej dla pozycji Y i Z badanego urządzenia (*BU*).

5. STANOWISKO DO POMIARU W KOMORZE GTEM NATEŻENIA POŁA EMITOWANYCH ZAKŁÓCEŃ RADIOELEKTRYCZNYCH

Używane w Instytucie Łączności we Wrocławiu stanowisko do pomiarów zakłóceń radioelektrycznych emitowanych przez badane urządzenia składa się z elementów pokazanych na rys. 13 i zawiera:



Rys. 13. Stanowisko do pomiaru emisji zakłóceń radioelektrycznych urządzeń za pomocą komory GTEM

- komorę GTEM 1500,
- odbiornik pomiarowy ESVP,
- generator kalibracyjny wzorcowego pola,
- komputer sterujący PC-AT z kartą interfejsu IEEE488 i dwoma monitorami oraz drukarką HP Laser Jet 4L,
- oprogramowanie specjalistyczne do pomiaru emisji zakłóceń radioelektrycznych EMISSION,

- system wizualizacji i dokumentowania pomiarów (kolorowa kamera telewizyjna, monitor, komputer do zapamiętywania obrazów i specjalistyczne oprogramowanie).

5.1. Procedura pomiaru emisji zakłóceń radioelektrycznych w komorze GTEM

Dopuszczalne poziomy emitowanych zakłóceń radioelektrycznych są regulowane przez normy, oparte na publikacji CISPR 22 oraz CISPR 11 (tabelaryczne wartości z tych norm umieszczono w zbiorze STANDARD.DAT i przytoczono dalej).

Pomiary emisji zakłóceń radioelektrycznych wykonuje się w pasmie od 30 MHz do 1000 MHz. Etapy procedury pomiarowej obejmują:

- rozpoznanie obiektu badań,
- wybranie i zestawienie stanowiska pomiarowego,
- wykonanie pomiarów zakłóceń w całym pasmie częstotliwości,
- opracowanie protokołu badań.

Etapy te są analogiczne do pomiarów wykonywanych na otwartym polu zastępczym lub w klatce Faradaya [3], z wyjątkiem sposobu wykonania pomiarów, który jest właściwy dla komory GTEM.

Komora GTEM została kupiona łącznie z oprogramowaniem specjalistycznym do pomiaru emisji zakłóceń radioelektrycznych - EMISSION. Oprogramowanie to zawiera następujące moduły podstawowe:

- emission.exe - program sterujący pomiarem emisji zakłóceń radioelektrycznych,
- config.*** - zbiór określający ustawienie parametrów pomiaru,
- standard.dat - zbiór zawierający opisy norm do badań emisji,
- config.dat - zbiór zawierający protokoły badań;
- DATA - kartoteka do zapamiętywania wyników pomiarów.

Aby przeprowadzić pomiary w komorze GTEM, należy wykonać niżej podane czynności.

1. Umieścić badane urządzenie (*BU*) w środku objętości testowej komory i zorientować osie *BU* z osiami komory GTEM (orientację osi badanego urządzenia pokazano na rys. 12), a następnie zamknąć komorę.
2. Uruchomić oprogramowanie testujące *EMISSION*.
3. Z głównego menu wybrać pole *EUT* (badane urządzenie). W pojawiającym się menu wprowadzić: nazwę urządzenia, nazwisko operatora, komentarz do urządzenia, wysokość septum oraz wysokość środka badanego urządzenia nad dolną płytą komory.
4. Z głównego menu wybrać pole *Parameter* i ustawić parametry testu:
 - normę na zgodność, z którą ma być badane urządzenie (przykładową normę podano dalej);
 - częstotliwości początkową i końcową oraz przyrost częstotliwości,
 - nastawy odbiornika pomiarowego: szerokość pasma p.cz., rodzaj detektora, tłumienie w torze w.cz., wzmocnienie wstępne, czas pojedynczego pomiaru.
5. Z głównego menu wybrać pole *Measure*, a następnie wyzerować bufory z wynikami poprzednich pomiarów.
6. Z głównego menu wybrać pole *Measure*, a następnie: wybrać pomiar dla pozycji X (Y, Z) ustawienia *BU*. Rozpoczyna się wtedy pomiar dla ustawienia *BU* w pozycji X (Y, Z). Wyniki pomiaru w postaci graficznej są uwidoczniane na ekranie monitorów. Liczbowe wartości wyników pomiarów są zapamiętywane w buforze wyników w pamięci RAM komputera. Po zakończeniu pomiaru wyniki pomiaru w postaci graficznej można wprowadzić na drukarkę.
7. Po zakończeniu pomiaru w tej pozycji *BU* należy otworzyć komorę GTEM i zapamiętać - za pomocą systemu archiwizacji -

- obraz *BU* ze szczególnym uwidocznieniem położenia kabli zasilających i sygnałowych oraz następnie zmienić ustawienie *BU*.
8. Powtórzyć punkty 6 i 7 procedury pomiarowej dla pozycji *Y* i *Z* badanego urządzenia (*BU*).
 9. Z głównego menu wybrać pole *Measure*, a następnie wybrać funkcję *Correlation*, co spowoduje przeliczenie poprzednio uzyskanych wyników na współzależne do nich wartości na polu pomiarowym, zgodnie z wybraną do testowania normą (przeliczenie wyników pomiarów na współzależne wartości na polu pomiarowym odbywa się wg algorytmu podanego w następnym punkcie).
 10. Wprowadzić wyniki przeliczenia w postaci graficznej na drukarkę, a wyniki pomiarów z buforów wyników zapamiętać w przypisanych im zbiorach na dysku komputera do dalszego wykorzystania.

5.2. Podstawowe kroki algorytmu korelacyjnego, umożliwiającego obliczenie maksymalnych wartości natężenia pola z wartości zmierzonych w komorze GTEM

Kroki te wykonywane są dla każdej częstotliwości pomiarowej:

- pomiar napięcia dla każdego z trzech położen (*X*, *Y*, *Z*) badanego urządzenia (*BU*),
- wektorowe dodanie napięć,
- obliczenie mocy całkowitej,
- obliczenie dipola równoważnego,
- obliczenie natężenia pola polaryzacji poziomej i pionowej w swobodnej przestrzeni oraz nad przewodzącą ziemią dla różnych wysokości wg wybranej normy,
- znalezienie maksymalnej wartości natężenia pola i porównanie jej z wartością dopuszczalną wg przyjętej normy.

5.3. Przykładowe normy CISPR pamiętane w zbiorze STANDARD.DAT

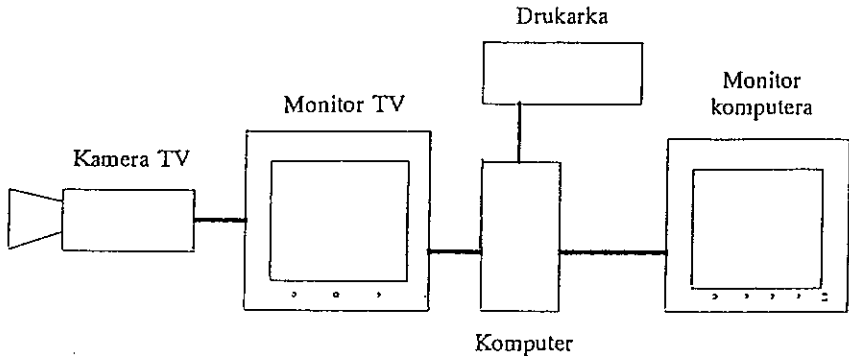
Nazwa normy:	CISPR 22 / 1987 Klasa B
Granica:	30 MHz: 30 dB μ V, 230 MHz: 30 dB μ V/m
Granica:	230 MHz: 37 dB μ V/m, 1000 MHz: 37 dB μ V/m
Wysokość badanego urządzenia nad ziemią:	0,8 m
Odległość do anteny:	10 m
Dolne położenie anteny:	1 m
Górne położenie anteny:	4 m

6. SYSTEM WIZUALIZACJI I ARCHIWIZACJI BADANYCH URZĄDZEŃ

Normy określające zasady oraz procedury pomiarowe zarówno emisji zakłóceń radioelektrycznych, jak i odporności urządzeń na pola zakłócające podają tylko ogólne zalecenia, dotyczące prowadzenia połączeń zasilających oraz sygnałowych do badanych urządzeń. W związku z tym powstaje konieczność wykonywania dokumentacji (rysunków) lub fotografii pokazujących rzeczywiste rozmieszczenie tych przewodów (do umożliwienia powtórzenia pomiarów w takim samym otoczeniu, w jakim już poprzednio je wykonywano). Jest to sposób niewygodny i długotrwały, dlatego w laboratorium Instytutu Łączności we Wrocławiu zastosowano system telewizyjny z komputerowym zapamiętywaniem obrazów badanych urządzeń oraz podglądem obrazu na monitorze, szczególnie w czasie badań odporności urządzeń wewnątrz komory GTEM.

System wizualizacji i archiwizacji badanych urządzeń pokazano na rys. 14. W skład tego systemu wchodzi:

- kolorowa kamera telewizyjna,
- kolorowy monitor telewizyjny,
- komputer klasy PC AT ze specjalizowaną kartą pamięci obrazów telewizyjnych, z monitorem monochromatycznym do podglądu obrazów oraz specjalistycznym oprogramowaniem do przetwarzania obrazów.



Rys. 14. System wizualizacji i archiwizacji badanych urządzeń

Zapamiętane obrazy mogą być użyte w edytorach tekstowych w czasie opracowywania protokołów pomiarów. Podgląd obrazów na monitorze TV we wnętrzu komory umożliwia śledzenie objawów działania badanego urządzenia w czasie pomiaru odporności.

WYKAZ LITERATURY

1. Hansen D., Ristau D.: Review and future research of GTEM cells. Proc. Int. Symp. EMC, Wrocław, 1994, pp. 176-179.
2. Koenigstein D., Hansen D.: A new family of TEM-cells with enlarged bandwidth and optimized working volume. Proc. 7th Int. Zurich Symp. and Techn. Exh. on EMC, March 1987, pp. 127-132.

3. Kowal W., Zdanowicz C., Zemełko D.: Laboratorium badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń telekomunikacyjnych oraz przygotowanie laboratorium do akredytacji. Instytut Łączności Oddział we Wrocławiu, Wrocław 1994.
4. Nothofer A., Marvin A.C., Konefal T.: Radiated emission measurement in GTEM cells compared with those of an OATS. Proc. 12th Int. Zurich Symp. and Techn. Exh. on EMC, February 1997, pp. 317-320.
5. Osburn J. D. M.: Radiated emissions test performance of the Ghz TEM cell. Proc. 2nd Int. Symp./Exh. Madrid, October 1991.
6. Schieve R. L.: Radiated emission measurement procedures at an open-area test site. Proc. Int. Symp. EMC, Denver (USA), 1989, pp. 151-156.
7. Więckowski T. W.: Pomiar emisyjności i podatności urządzeń elektronicznych w komorze GTEM. Materiały z KST'95, A-EP.02, Bydgoszcz 1995, str. 101-110.
8. Wilson P.: On correlating TEM cell and OATS emission measurements. IEEE Trans. on EMC, Vol. 37, No. 1, February 1995, pp. 1-16.
9. Wilson P.: On simulating OATS near field measurements via GTEM cell measurements. IEEE EMC Symp. Austin, Texas (USA), August 1993, pp. 53-57.
10. Wilson P., Hansen D., Koenigstein D.: Simulating open area test site emission measurements based on data obtained in a novel broadband TEM cell. Proc. IEEE, 1989, Natl. Symp. on EMC (Denver, CO), May 1989, pp. 171-177.

