



PODSTAWOWE POMIARY URZĄDZEŃ SIECIOWYCH. Wprowadzenie do kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych

Pomiar emisji przewodzonej



Oczekiwane efekty uczenia się: wiedza lub umiejętności zawodowe w zakresie dziedziny zawodowej, przydatne do wykonywania zawodu:

Zapoznanie się z obowiązującymi normami dotyczącymi emisji przewodzonej

- Zapoznanie się z podstawowymi pojęciami obowiązującymi na danym stanowisku badawczym.
- Zdobyć wiedzy z zakresu źródeł zakłóceń przewodzonych oraz mechanizmów ich powstawania w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych.
- Poznanie zasady działania sprzętu pomiarowego do emisji przewodzonej, w tym odbiornika pomiarowego i sieci sztucznej
- Nabycie umiejętności przygotowania stanowiska do pomiaru emisji przewodzonej, zgodnie z wytycznymi norm.
- Poznanie procedur wykonywania pomiarów emisji przewodzonej oraz sposobu oceny zgodności z normami.
- Zrozumienie zasad dokumentowania wyników pomiarów i interpretacji danych.
- Poznanie przykładów źródeł zakłóceń przewodzonych oraz ich wpływu na inne urządzenia.

Oczekiwane efekty uczenia się: w tym kształtujące umiejętności cyfrowe:

- Umiejętność obsługi odbiornika pomiarowego oraz sieci sztucznej.
- Umiejętność zapisu i interpretacji wyników w dedykowanym oprogramowaniu.

Oczekiwane efekty uczenia się: w tym kształtujące umiejętności związane z transformacją ekologiczną:

- Zrozumienie wpływu nadmiernej emisji zakłóceń elektromagnetycznych na funkcjonowanie innych urządzeń oraz środowisko elektromagnetyczne.
- Poznanie metod ograniczania emisji przewodzonej, co prowadzi do poprawy niezawodności, ograniczenia zużycia energii i mniejszej liczby awarii.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

➤ **Sprzęt pomocniczy (ancillary equipment)**

Przetworniki (np. sondy prądowe i napięciowe oraz sieci sztuczne) podłączone do odbiornika pomiarowego lub generatora sygnału testowego, wykorzystywane do przenoszenia sygnału zakłócającego między EUT a aparaturą pomiarową lub testową.

➤ **Sieć sztuczna (artificial network, AN)**

Uzgodniona impedancja odniesienia (symulowana), przedstawiana EUT przez rzeczywiste sieci (np. linie zasilające lub komunikacyjne), na których mierzone jest napięcie zakłócenia RF.

➤ **Sztuczna sieć zasilająca (artificial mains network, AMN)**

Sieć zapewniająca określoną impedancję dla EUT na częstotliwościach radiowych, sprzęgająca napięcie zakłócające do odbiornika pomiarowego oraz odsprzęgająca obwód testowy od sieci zasilającej.

Istnieją dwa podstawowe typy:

- sieć V (V-AMN) sprzęgająca napięcia niesymetryczne oraz sieć trójkątna (Δ -AMN),
- sprzęgająca napięcia symetryczne i niesymetryczne oddzielnie.

Terminy LISN (line impedance stabilization network) i V-AMN używane są zamiennie.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

➤ **Sprzęt towarzyszący (associated equipment, AE)**

Urządzenia, które nie są częścią systemu testowanego, ale są potrzebne do prawidłowego działania EUT.

➤ **Asymetryczna sieć sztuczna (asymmetric artificial network, AAN)**

Sieć służąca do pomiaru (lub wprowadzania) napięć niesymetrycznych na nieekranowanych liniach symetrycznych (np. telekomunikacyjnych), przy jednoczesnym odrzuceniu sygnału symetrycznego (różnicowego).

➤ **Napięcie niesymetryczne (asymmetric voltage)**

Napięcie zakłócające RF pojawiające się między środkiem elektrycznym zacisków sieciowych a ziemią, czasem nazywane napięciem wspólnym (common mode).

Jeśli V_a to napięcie wektorowe między jednym zaciskiem a ziemią, a V_b między drugim zaciskiem a ziemią, napięcie niesymetryczne = $(V_a + V_b)/2$.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

➤ **Napięcie symetryczne (symmetric voltage)**

Napięcie zakłócające RF pojawiające się między dwoma przewodami w obwodzie dwuprzewodowym (np. jednofazowa sieć), czasem nazywane napięciem różnicowym (differential mode).

Napięcie symetryczne = $V_a - V_b$.

➤ **Napięcie w trybie niesymetrycznym (unsymmetric mode voltage)**

Amplituda napięcia wektorowego V_a lub V_b .

Mierzone przy użyciu sztucznej sieci V.

➤ **Sprzęt pomocniczy (auxiliary equipment, AuxEq)**

Sprzęt peryferyjny będący częścią systemu testowanego.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

➤ **CDNE-X**

Sieć sprzęgająco-odsprzęgająca do pomiaru emisji w zakresie 30–300 MHz; „X” może oznaczać: M2 – linie dwuprzewodowe, DC lub porty sterujące nieekranowane, M3 – linie trójprzewodowe nieekranowane, Sx – kable ekranowane z x przewodami wewnętrznymi.

➤ **Kabel koncentryczny (coaxial cable)**

Kabel zawierający jedną lub więcej linii koncentrycznych, zwykle stosowany do dopasowanego połączenia sprzętu pomocniczego z aparaturą pomiarową lub generatorem sygnału, zapewniający określoną impedancję i maksymalną dopuszczalną impedancję przenoszenia.

➤ **Ciągłe zakłócenie (continuous disturbance)**

Zakłócenie RF trwające >200 ms na wyjściu IF (Intermediate Frequency) odbiornika pomiarowego, powodujące wychylenie wskaźnika w trybie quasi-peak, które nie zanika natychmiast.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

- **Przerywane zakłócenie (discontinuous disturbance)**
Zakłócenie o czasie trwania <200 ms na wyjściu IF (Intermediate Frequency) odbiornika, powodujące przejściowe wychylenie wskaźnika w trybie quasi-peak.
- **Emisja (electromagnetic emission)**
Zjawisko, w którym energia elektromagnetyczna emituje się ze źródła.
- **Limit emisji (emission limit)**
Określony maksymalny poziom emisji źródła zakłóceń elektromagnetycznych.
- **Urządzenie badane (equipment under test, EUT)**
Urządzenia, aparaty i systemy poddawane testom zgodności EMC (emisji).

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

- **Czas pomiaru, skanowania i przemiatania (Measurement, scan and sweep times)**
- **Pomiar (measurement)** - proces uzyskania wartości wielkości fizycznej przypisywalnej danej wielkości.
- **Czas pomiaru (T_m)** - efektywny czas dla wyniku pomiaru przy jednej częstotliwości (tzw. dwell time).
- **Skan (scan)** - ciągła lub krokowa zmiana częstotliwości w zadanym paśmie.
- **Pasmo (span, Δf)** - różnica między częstotliwością końcową a początkową.
- **Przemiatanie (sweep)** - ciągła zmiana częstotliwości w zadanym paśmie.
- **Czas przemiatania (T_s)** - czas między częstotliwością początkową a końcową.
- **Szybkość przemiatania (sweep rate)** - pasmo podzielone przez czas przemiatania.
- **Czas obserwacji (T_o)** - suma czasów pomiaru T_m przy danej częstotliwości w przypadku wielokrotnego przemiatania.
- **Całkowity czas obserwacji (T_{tot})** - efektywny czas dla przeglądu widma (pojedynczy lub wielokrotny).
- **Odbiornik pomiarowy (measuring receiver)**
Instrument, taki jak miernik strojony, odbiornik EMI, analizator widma lub przyrząd FFT, spełniający wymagania CISPR 16-1-1.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

- **Liczba przemiatkań na jednostkę czasu (ns)**
1/(czas przemiatania + czas powrotu).
- **Norma produktowa (product standard)**
Publikacja określająca wymagania EMC dla produktu lub rodziny produktów, uwzględniająca specyficzne aspekty produktu.
- **Uziemienie ochronne (protective earthing)**
Uziemienie punktu lub punktów w systemie, instalacji lub urządzeniu w celu zapewnienia bezpieczeństwa elektrycznego.
- **Uziemienie odniesienia (reference ground)**
Punkt odniesienia potencjału.
W systemie pomiarów przewodzonych może być tylko jedno uziemienie odniesienia.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – podstawowe pojęcia

- **Płaszczyzna uziemienia odniesienia (reference ground plane, RGP)**
Płaska przewodząca powierzchnia używana jako wspólne odniesienie, umożliwiającą określoną pojemność pasożytniczą względem otoczenia EUT.
Niezbędna przy pomiarach przewodzonych napięć niesymetrycznych i asymetrycznych.
- **Test**
Działanie techniczne polegające na określeniu jednej lub więcej cech produktu, procesu lub usługi według określonej procedury.
- **Konfiguracja testowa (test configuration)**
Układ zapewniający określone ustawienie pomiarowe EUT, w którym mierzony jest poziom zakłócenia.
- **Całkowita impedancja (total common mode impedance, TCM impedance)**
Impedancja między kablem podłączonym do portu EUT a płaszczyzną odniesienia RGP.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – wprowadzenie

Tworzenie i rozprzestrzenianie zaburzeń w widmie częstotliwości zależy od konstrukcji i parametrów elektrycznych urządzenia w określonym zakresie częstotliwości.

- Zaburzenia przenoszone przewodami do systemu elektroenergetycznego nazywamy emisjami przewodzonymi.
- Umowny zakres częstotliwości emisji przewodzonych: (od 9kHz) 150 kHz – 30 MHz.
- Ocena tych emisji odbywa się przez pomiar odpowiednich wielkości elektrycznych w obwodach zewnętrznych, np. przewodach zasilających.
- Można je (zaburzenia) przedstawiać w dziedzinie czasu lub częstotliwości. Poziom zaburzeń wyraża się w: jednostkach bezwzględnych (μV lub μA), jednostkach logarytmicznych ($\text{dB}\mu\text{V}$ lub $\text{dB}\mu\text{A}$). Ze względu na sposób rozprzestrzeniania wyróżnia się zakłócenia różnicowe i wspólne.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – wprowadzenie

Cel pomiarów:

Sprawdzenie, czy poziomy zarejestrowanych zaburzeń nie przekraczają wartości dopuszczalnych określonych w normach i przepisach.

Pomiar emisji przewodzonych:

- Podstawowe urządzenie: selektywny miernik zakłóceń.
- Sprzęt dodatkowy do pomiarów: Sieci sztuczne (LISN), Cęgi absorpcyjne, Sondy napięciowe i prądowe.
- Charakterystyki wartości zaburzeń wyznacza się przez pomiary przy wielu kolejnych częstotliwościach w określonym zakresie.
- Poziom zaburzeń zależy od warunków pracy badanej aparatury, dlatego pomiary powinny być prowadzone przy warunkach zbliżonych do normalnej eksploatacji.

Warunki pomiarowe:

Stanowiska do analizy emisji przewodzonych nie wymagają obowiązkowo pomieszczenia ekranowego, ale jest to zalecane ze względu na:

- efekt antenowy przewodów zasilających,
- wpływ zewnętrznych zakłóceń.

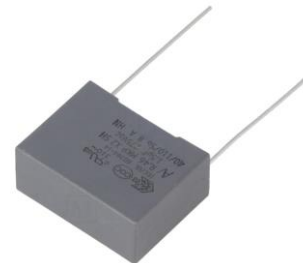
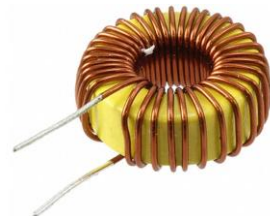
Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – metody ograniczania emisji przewodzonej

Najbardziej powszechna metoda ograniczania emisji przewodzonej:

- Filtry LC (indukcyjność + kondensator) – tłumią wysokoczęstotliwościowe składowe w sieci.
- Filtry EMI/RFI – dedykowane filtry do podłączenia między urządzeniem a siecią.

Ale też...

- Separacja galwaniczna - izolowanie obwodów, aby zapobiec przepływowi zakłóceń prądu między nimi.
- Ekranowanie - osłanianie urządzeń i kabli, aby zapobiegać emisji i odbieraniu zakłóceń elektromagnetycznych.
- Uziemienie - właściwe uziemienie urządzeń i obudów, które pozwala odprowadzić niepożądane prądy i zakłócenia do ziemi.
- Projektowanie - odpowiedni projekt obwodów drukowanych i zarządzanie ścieżkami sygnałów, aby zminimalizować powstawanie zakłóceń.



Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Detektory

➤ **Detektor średni (average detector)**

- Stosowany głównie do pomiaru zakłóceń wąskopasmowych.
- Pozwala również na rozróżnienie zakłóceń wąskopasmowych i szerokopasmowych.

➤ **Detektor quasi-szczytowy (quasi-peak detector)**

- Przeznaczony do wagowego pomiaru zakłóceń szerokopasmowych, uwzględniającego subiektywne odczucie hałasu przez słuchacza radiowego.
- Może być również stosowany do zakłóceń wąskopasmowych.

➤ **Detektor RMS-średni (r.m.s.-average detector)**

- Używany do wagowego pomiaru zakłóceń szerokopasmowych, oceniającego wpływ impulsowych zakłóceń na usługi cyfrowej komunikacji radiowej.
- Może być także stosowany do zakłóceń wąskopasmowych.

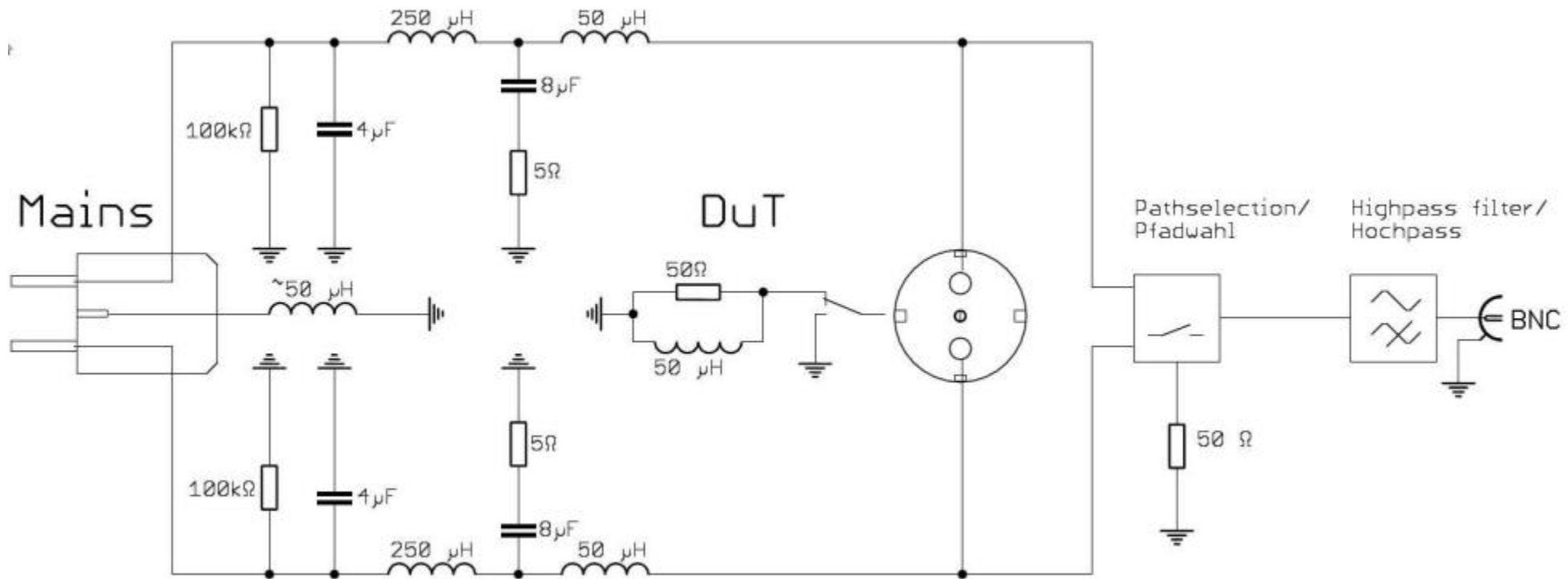
➤ **Detektor szczytowy (peak detector)**

- Może być stosowany zarówno do zakłóceń szerokopasmowych, jak i wąskopasmowych.

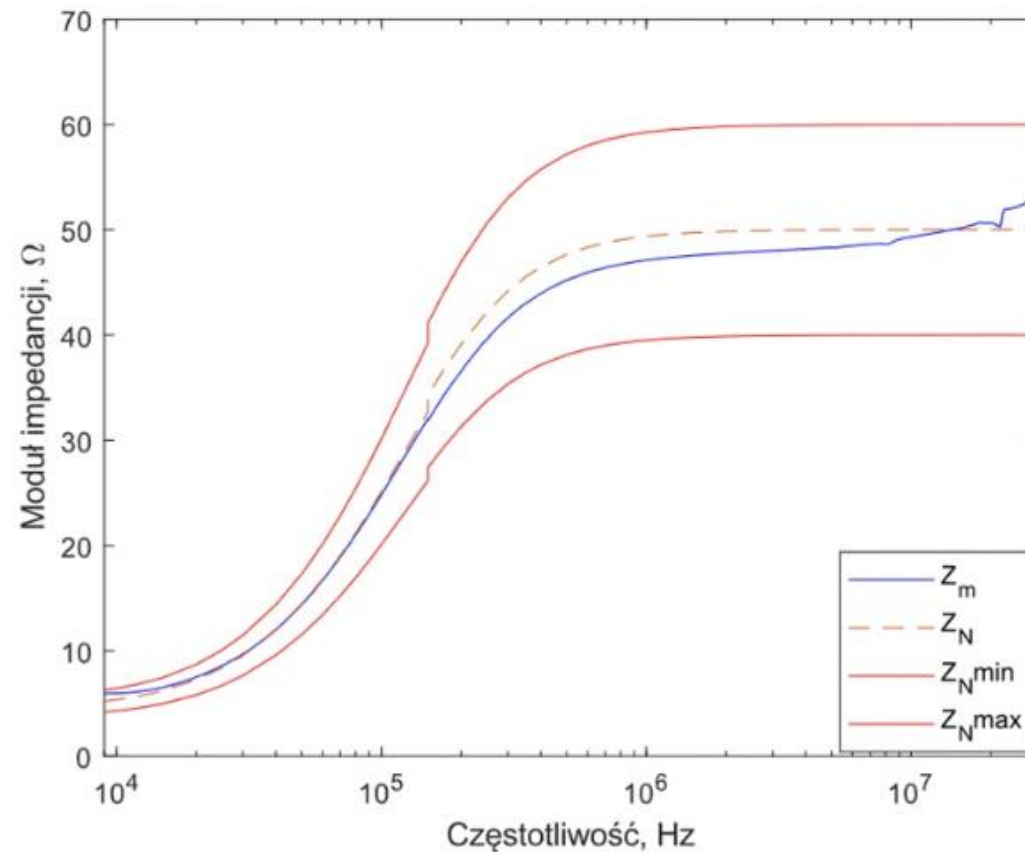
Uwagi:

Odbiorniki pomiarowe z tymi detektorami są określone w normie CISPR 16-1-1.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Sieć sztuczna

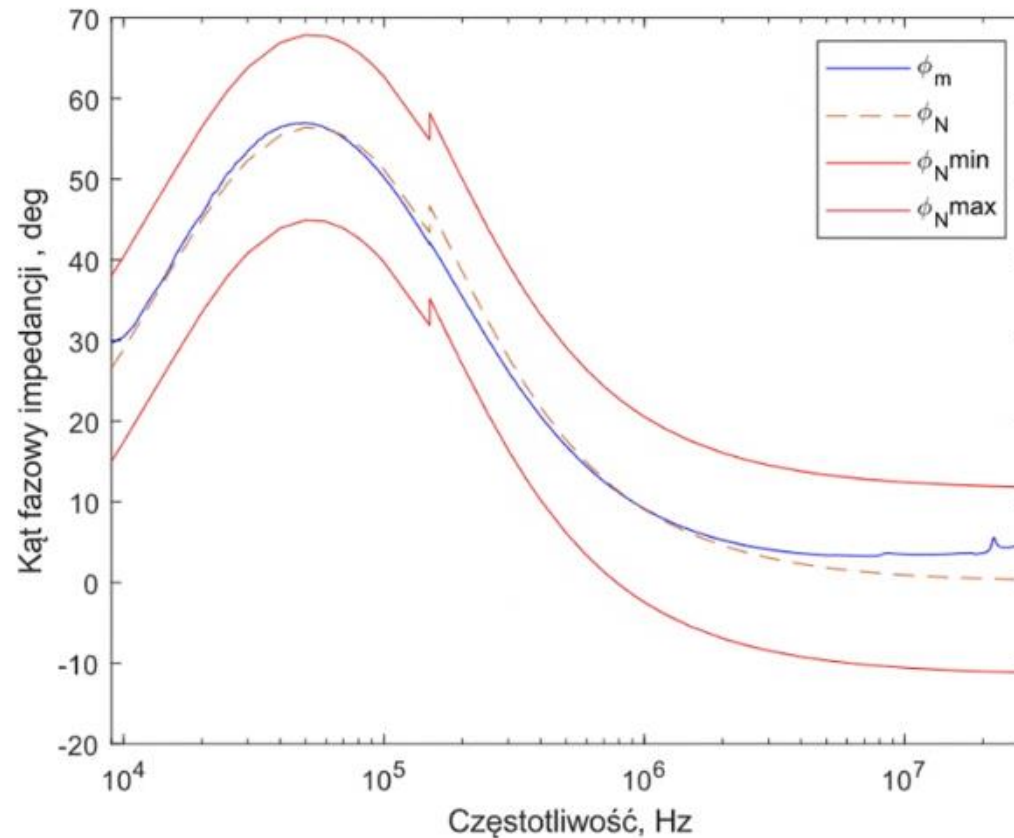


Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Sieć sztuczna



Przebieg modułu impedancji sieci sztucznej

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Sieć sztuczna

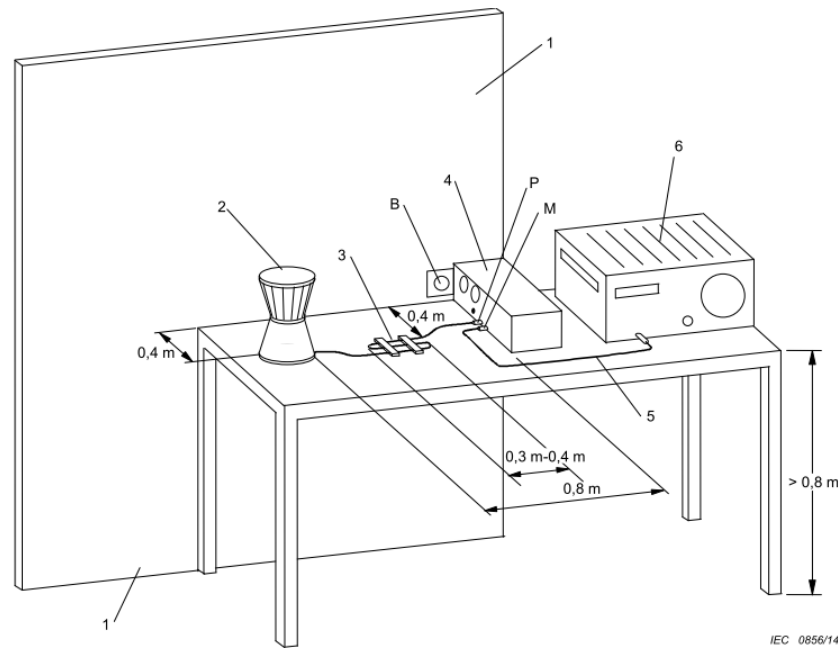


Przebieg kąta fazowego sieci sztucznej

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1



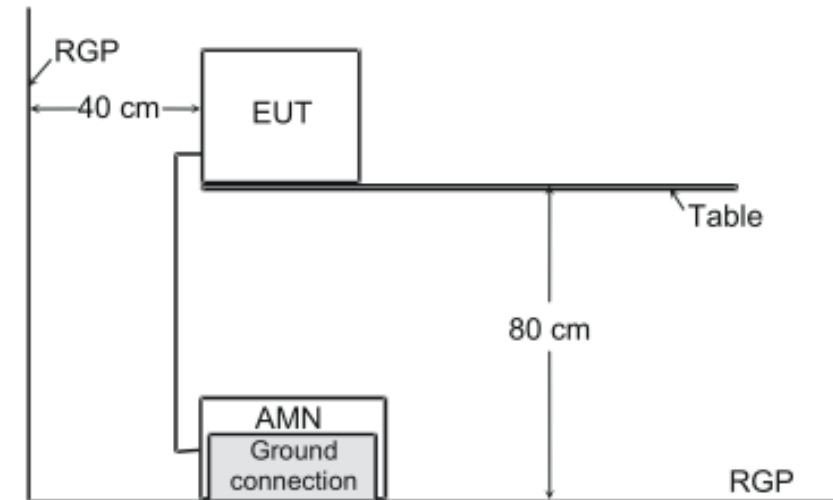
Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Konfiguracja stanowiska



Key

- 1 Metallic wall 2 m by 2 m
- 2 EUT
- 3 Excess power cord (e.g. 0,02 m by 0,3 m forming a meander)
- 4 AMN
- 5 Coaxial cable
- 6 Measuring receiver
- B Reference ground connection
- M Measuring receiver port
- P Power to EUT

Tolerances of cable lengths and distances are as practical as possible.



Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Ocena wyników badania

- Badania emisji wykonuje się z wykorzystaniem oprogramowania użytkowego EUT. Dopuszcza się jedynie takie modyfikacje oprogramowania, które służą wydłużeniu cyklu pracy EUT w celu przeprowadzenia pomiaru emisji. Nie wykonuje się żadnych modyfikacji oprogramowania w celu pomiaru zaburzeń krótkotrwałych.
- Zasadniczo, **badania EMC** powinny być realizowane z wykorzystaniem finalnej wersji oprogramowania użytkowego, przeznaczonej do dostarczenia użytkownikowi końcowemu. W przypadku badań odporności dopuszcza się również użycie oprogramowania serwisowego.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Ocena wyników badania

- Rozszerzona niepewność pomiarowa UCISPR

Dla zakłóceń przewodzonych mierzonych na zaciskach sieci sztucznej typu V, w zakresie 150 kHz – 30 MHz, UCISPR wynosi 3,4 dB (wg PN-EN 55016-4-2 / CISPR 16-4-2).

- Ocena wyników pomiarów (Spełnia/nie spełnia)

Procedura zależy od niepewności pomiarowej laboratorium (ULAB):

- $ULAB \leq UCISPR$ ($ULAB \leq 3,4$ dB) – Niepewność laboratorium jest mniejsza niż 3,4 dB

Spełnia : Żadna zmierzona wartość zakłóceń nie przekracza dopuszczalnego poziomu.

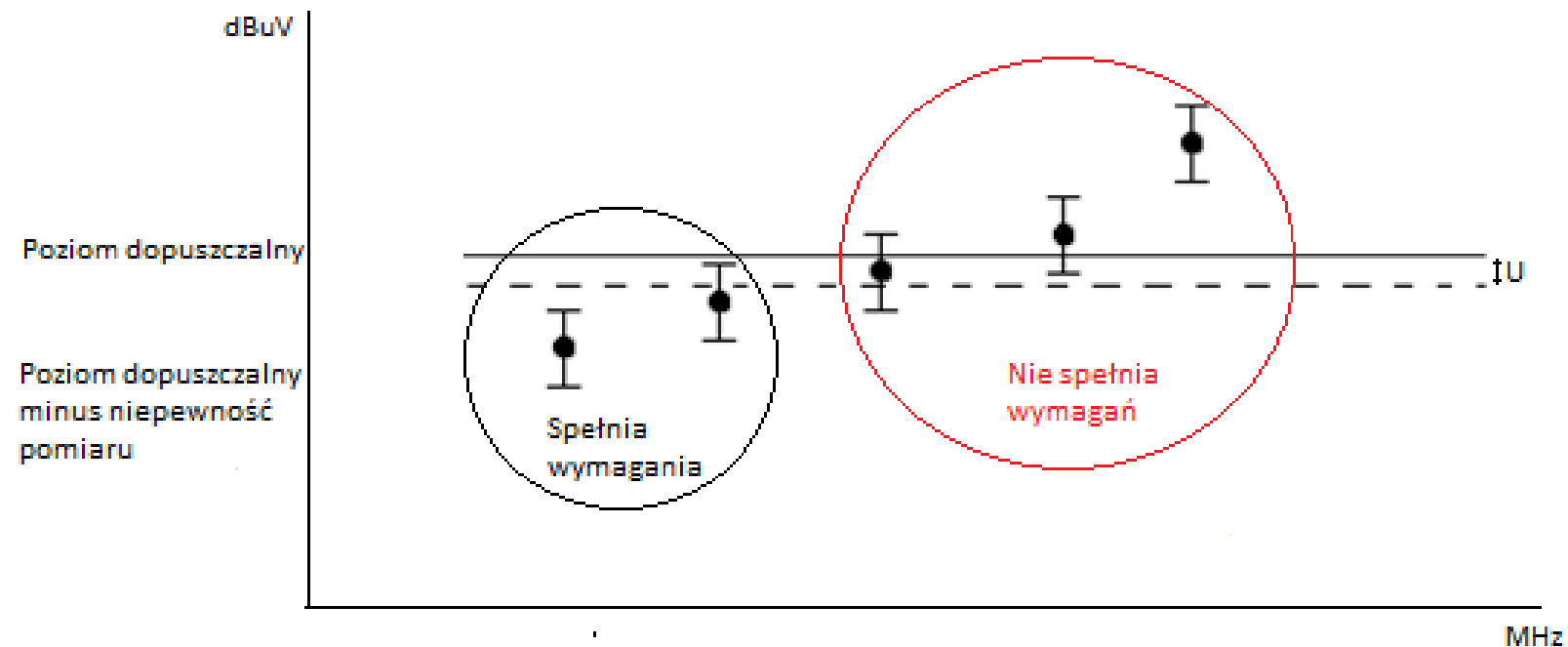
Nie spełnia : Nawet pojedynczy pomiar przekracza dopuszczalny poziom.

- $ULAB > UCISPR$ – Niepewność laboratorium jest większa niż 3,4 dB

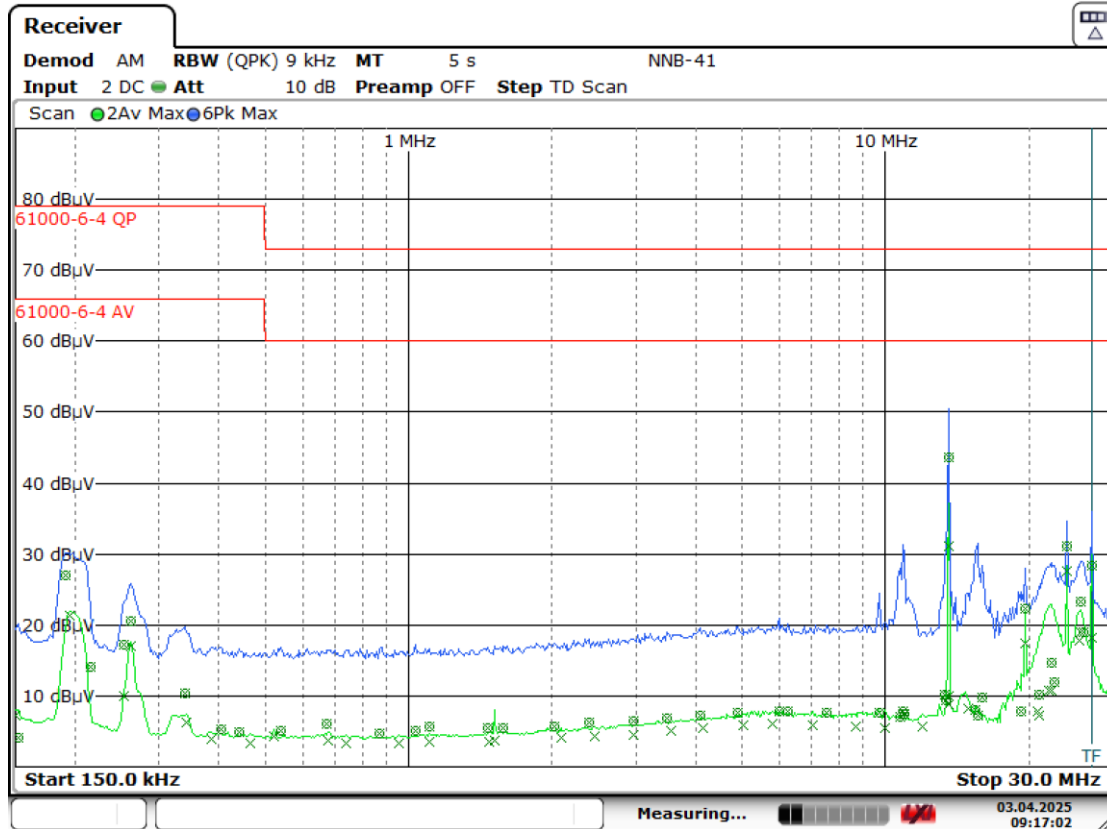
Spełnia: Żadna zmierzona wartość, po zwiększeniu o ($ULAB - UCISPR$), nie przekracza dopuszczalnego poziomu.

Nie spełnia : Nawet pojedynczy pomiar, po zwiększeniu o ($ULAB - UCISPR$), przekracza dopuszczalny poziom.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Ocena wyników badania

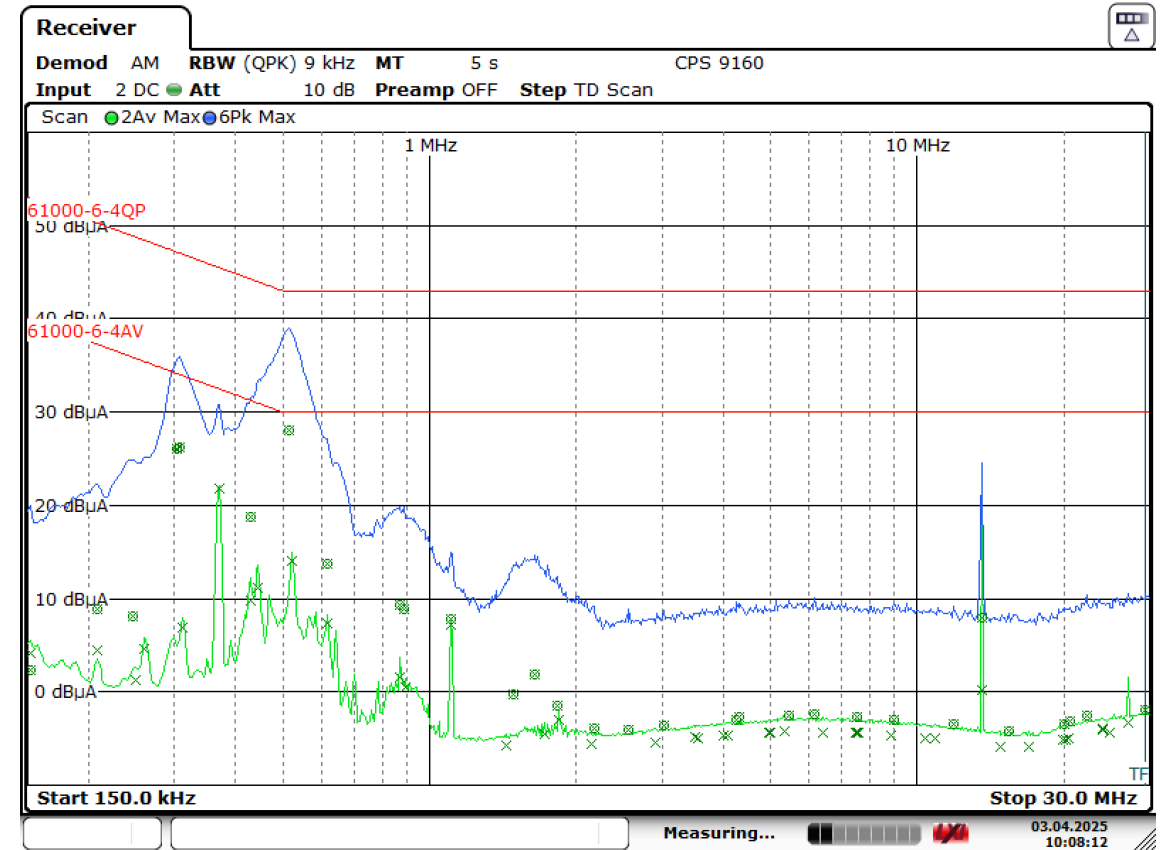


Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Ocena wyników badania



rty

Date: 3.APR.2025 09:17:02



rty

Date: 3.APR.2025 10:08:12

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Ogólne zasady

Główne cele definiowania konfiguracji systemu testowego dla pomiarów zakłóceń przewodzonych obejmują:

- unikanie pętli masy powodujących zakłócenia wspólnego trybu,
- określenie konfiguracji łatwej do powtórzenia,
- odsprzęganie linii niepodlegających pomiarowi od linii mierzonej,
- odpowiednie prowadzenie linii, aby osiągnąć odsprzęganie,
- rozmieszczenie linii w celu minimalizacji wpływu pól magnetycznych na pomiary zakłóceń,

Wytyczne dotyczące pomiarów:

- Napięcie zakłóceń na linii systemowej powinno być mierzone za pomocą sieci sztucznej (AN), gdy to możliwe.
- Dla prądów do 50 A można łatwo stosować AMN.
- AN powinno być zamontowane w odległości do 80 cm od badanego urządzenia (EUT), jeśli jest to praktyczne.
- Każdy przewód w wieloprzewodowym obwodzie zasilania powinien przechodzić przez AMN.
- Każda AN powinna być zakończona rezystorem 50 Ω na zacisku pomiarowym.

Podłączenie EUT i alternatywy dla AMN

- EUT należy ustawić i podłączyć zgodnie z instrukcjami producenta, a przewody powinny być poprawnie zakończone.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Ogólne zasady

Ogólne zasady konfiguracji systemu

- System powinien być starannie skonfigurowany, zainstalowany i uruchomiony w sposób jak najbardziej zbliżony do typowego użycia, zgodnie z instrukcją obsługi lub wymaganiami normy.
- Urządzenia, które zwykle działają w systemie składającym się z wielu jednostek, powinny być testowane jako część takiego typowego systemu operacyjnego.
- Testowany system powinien odpowiadać typowi dostarczanemu użytkownikowi końcowemu.
- Jeśli informacje marketingowe nie są dostępne lub nie jest praktyczne złożenie pełnej instalacji, test należy przeprowadzić według najlepszego osądu inżyniera testującego, po konsultacji z zespołem projektowym, a decyzje należy udokumentować w raporcie testowym.

Dobór i rozmieszczenie przewodów

- Dobór przewodów, przewodów zasilających oraz rozmieszczenie jednostki głównej i peryferiów zależy od typu EUT i powinien odzwierciedlać typową instalację sprzętu.
- Odległość między jednostkami powinna wynosić 10 cm, jeśli konstrukcja nie pozwala, jednostki należy umieścić możliwie blisko siebie (>10 cm) i udokumentować konfigurację w raporcie testowym.

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Konfiguracja stanowiska



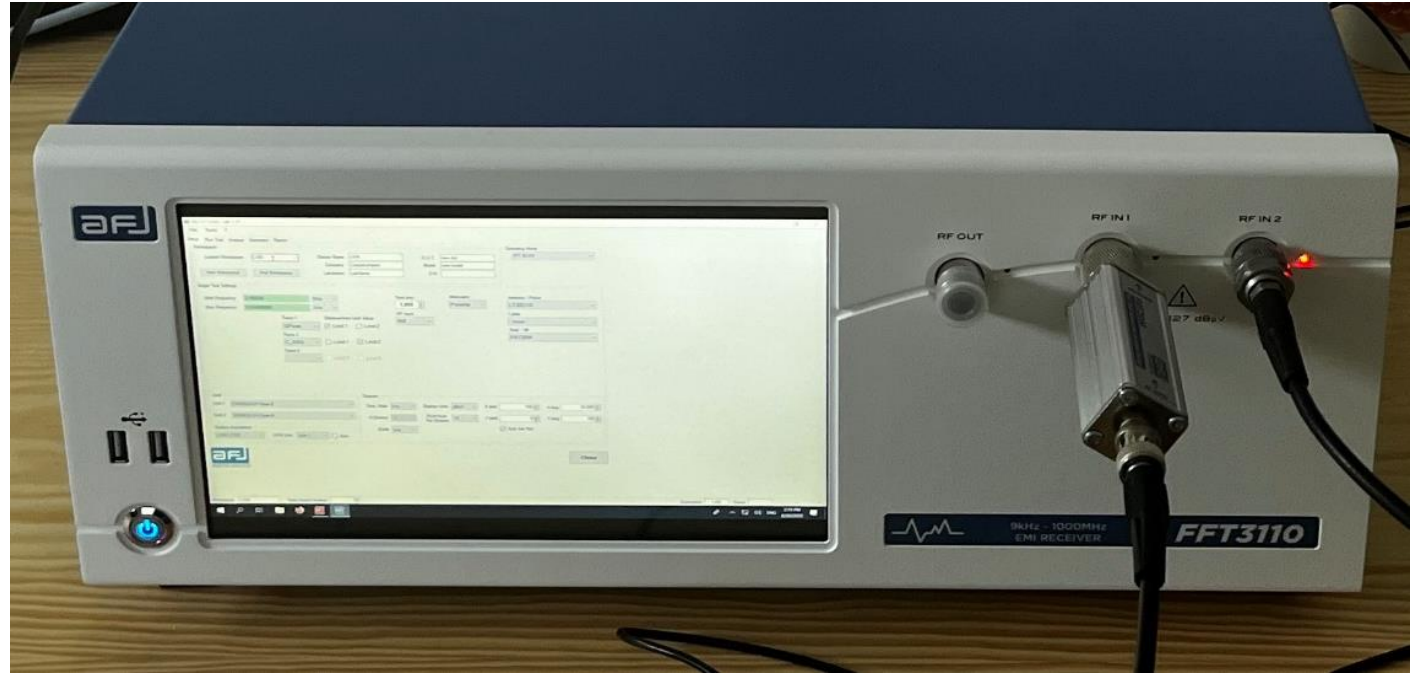
- 1 - pomiarowy odbiornik pomiarowy firmy AFJ typ FFT3110
- 2 - na uziemionej podłodze sieć V-LISN firmy AFJ typ LT32C/10
- 3 - badane urządzenie (laptop z zasilaczem) stojący na stole
- 4- pionowa płaszczyzna referencyjna

Widok stanowiska pomiarowego do emisji przewodzonej RF

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Konfiguracja stanowiska



Podłączone zasilanie EUT sieci V-LISN.



Podłączenie kabla pomiarowego sieci V-LISN do odbiornika za pośrednictwem ogranicznika przepięć – RF IN1.

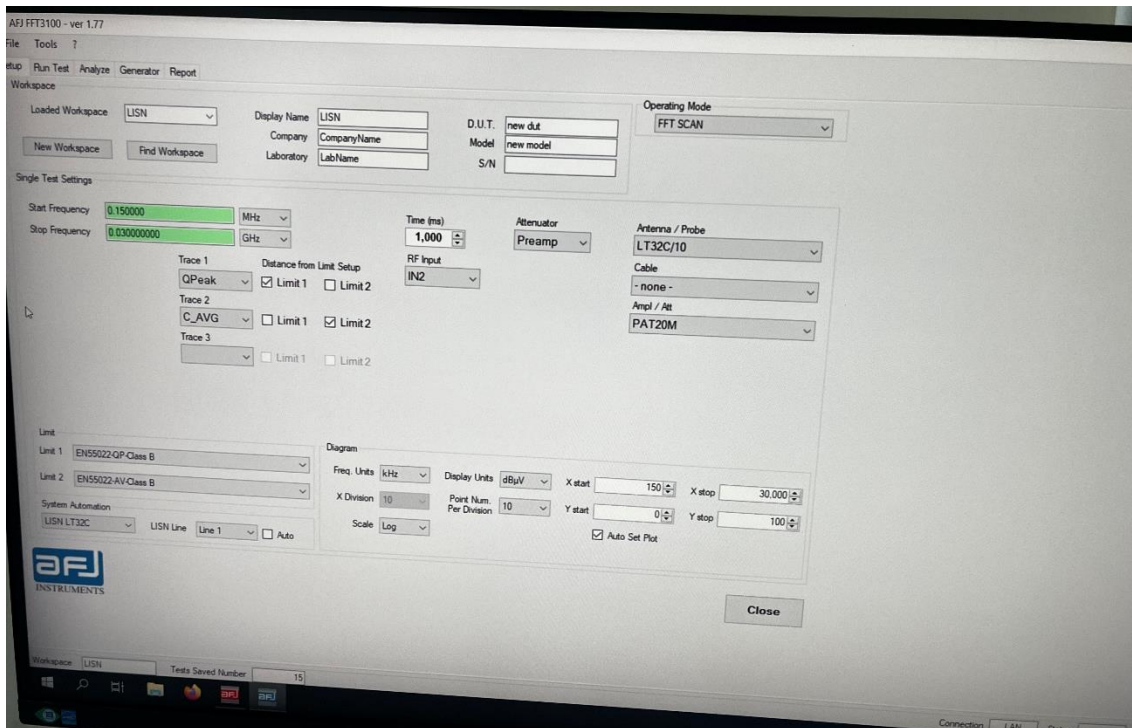
UWAGA:

Gniazda 3-fazowe 16A są pozbawione wyłącznika różnicowoprądowego (bez RCD) przez co jedynym zabezpieczeniem przeciwporażeniowym jest zabezpieczenie nadprądowe!!!!

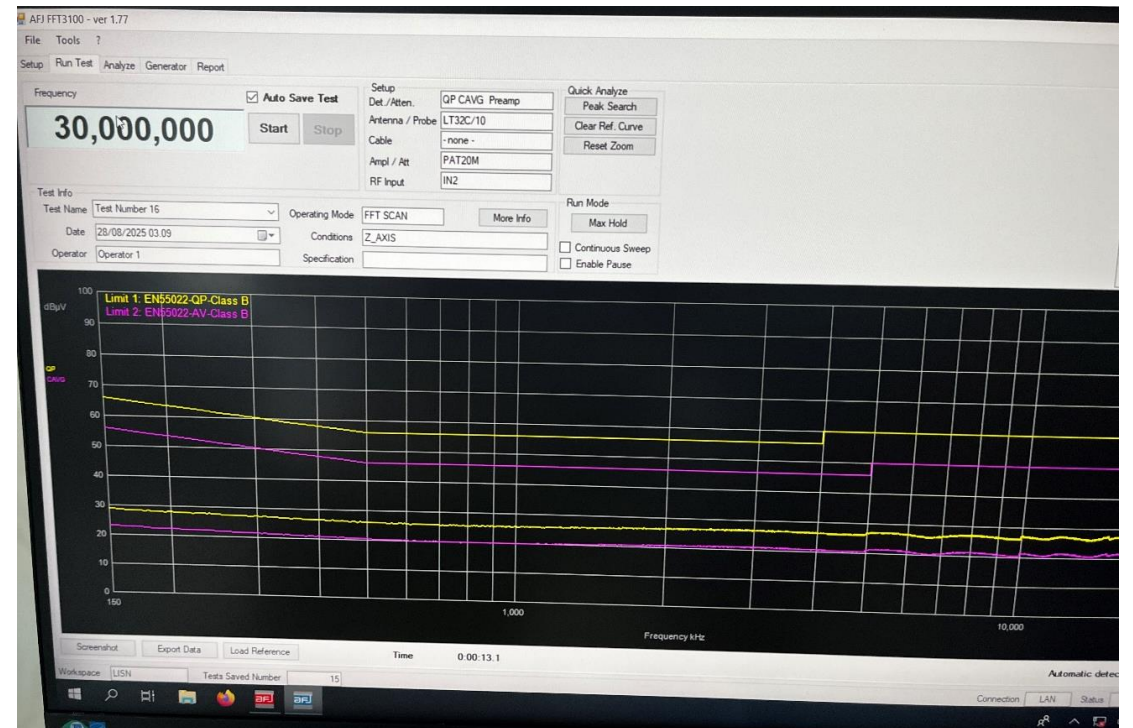
Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Ustawienie odbiornika pomiarowego

- Po podłączeniu stanowiska do pomiarów emisji przewodzonej RF zgodnie z informacjami podanymi w rozdziale „Podłączenie stanowiska” należy załączyć odbiornik za pomocą przycisku w lewym dolnym narożniku urządzenia. Jeżeli przycisk włącznika na panelu frontowym nie zadziała to należy przełączyć zasilanie włącznika z tyłu odbiornika, obok kabla zasilającego IEC, do pozycji „1”.
- Po załączeniu odbiornika należy załączyć zasilanie badanego urządzenia poprzez podłączenie go do gniazda EUT sieci V-LISN.
- Po uruchomieniu badanego urządzenia należy przejść do konfiguracji odbiornika pomiarowego. Po uruchomieniu odbiornika należy kliknąć niebieską ikonę AFJ FFT3110 w lewym górnym narożniku pulpitu, a następnie RUN. Po tych czynnościach uruchomi się oprogramowanie

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Ustawienie odbiornika pomiarowego

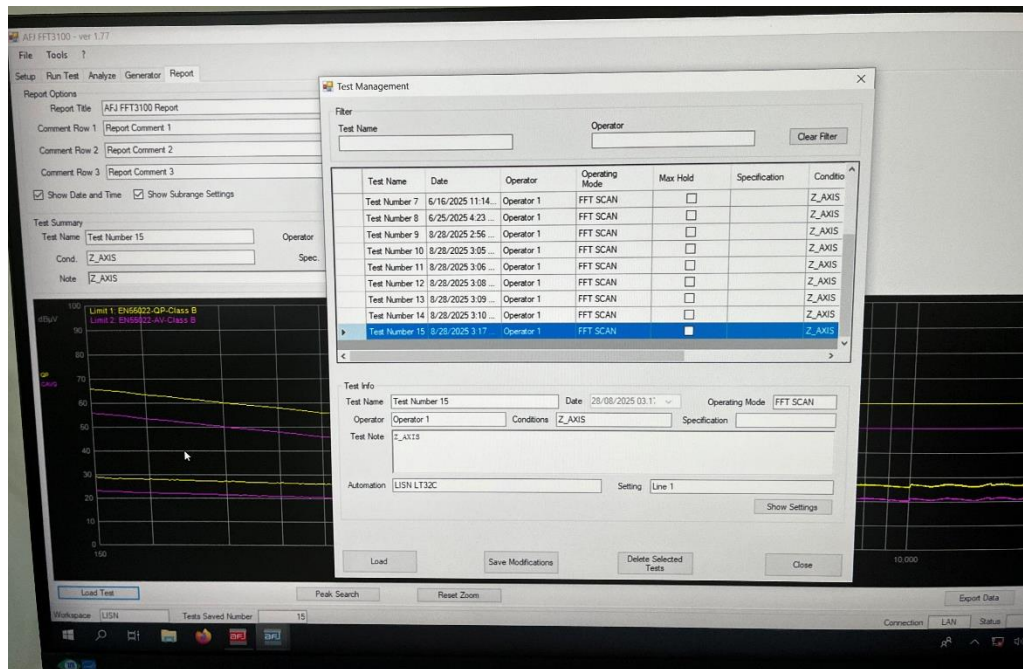


Okno konfiguracji pomiaru odbiornika pomiarowego

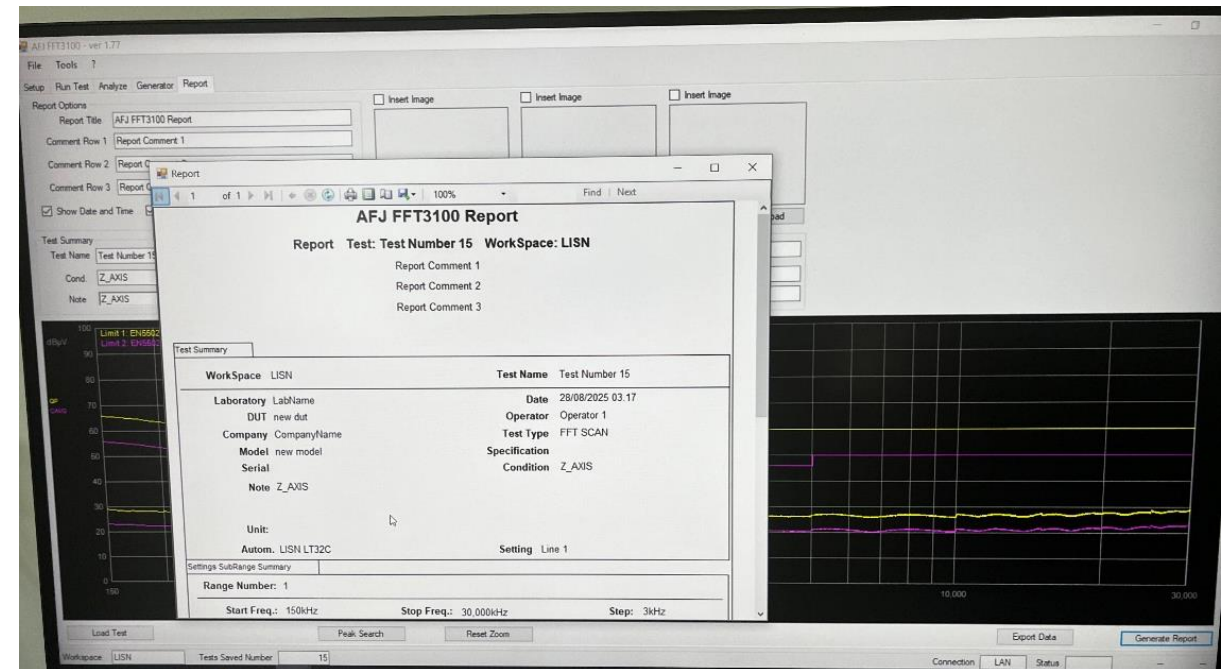


Okno zakładki „Run Test” po zakończeniu pomiaru

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1 – Raportowanie pomiarów



Okno zakładki „Report” po zakończeniu pomiaru



Okno zakładki „Report” z wygenerowanym raportem

Pomiar emisji przewodzonej zaburzeń częstotliwości radiowych – PN-EN 55016-2-1– Zadanie

1. Ustawienie odbiornika pomiarowego i wykonanie pomiaru
2. Wygenerowanie raportu i określenie wyniku pomiaru.

Zadania dodatkowe:

*Wykonanie pomiaru emisji własnych urządzeń – np. ładowarka do telefonu, laptop, itp.