



Institute of Electrical Engineering
University of Zielona Gora



Kompatybilność elektromagnetyczna rozproszonych systemów elektroenergetycznych

**Seminarium PTETiS
Zielona Góra 2010**

Adam Kempski

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Kompatybilność elektromagnetyczna

Zdolność urządzenia do zadowalającego działania w środowisku elektromagnetycznym bez powodowania nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych w stosunku do innych urządzeniach działających w tym środowisku.

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

- (2) Państwa Członkowskie są odpowiedzialne za zapewnienie, by radiokomunikacja, w tym odbiór emisji radiowych i służba radiokomunikacyjna amatorska działająca zgodnie z regulacjami Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego, a także sieci telekomunikacyjne i **sieci energetyczne**, jak również urządzenia do nich dołączane, były chronione przed zaburzeniami elektromagnetycznymi.

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

(12) Zasady, na których opiera się niniejsza dyrektywa są określone w rezolucji Rady z dnia 7 maja 1985 r. w sprawie nowego podejścia do harmonizacji i norm technicznych. Zgodnie z tym podejściem, przy projektowaniu i produkcji urządzeń stosuje się wymagania zasadnicze w odniesieniu do kompatybilności elektromagnetycznej.

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN), Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki (CENELEC) oraz Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych (ETSI) są uznawane za instytucje właściwe w dziedzinie objętej niniejszą dyrektywą do przyjmowania zharmonizowanych norm. ...

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

- (6) Do urządzeń objętych niniejszą dyrektywą należy zaliczyć zarówno **aparaturę** jak i **instalacje stacjonarne**. Jednak należy stworzyć **odrębne przepisy** dla każdego z nich. Związane jest to z faktem, że o ile sama aparatura jest przedmiotem swobodnego przepływu wewnątrz Wspólnoty, to instalacje stacjonarne są instalowane do stałego użytkowania w określonych miejscach, jako zestawy różnego rodzaju aparatury, a w stosownych przypadkach, także innych urządzeń. ...

DYREKTYWA 89/336/EWG W SPRAWIE ZBLIŻENIA USTAWODAWSTW PAŃSTW CZŁONKOWSKICH ODNOSZĄCYCH SIĘ DO KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

„*aparat*” to wszystkie elektryczne i elektroniczne urządzenia wraz ze sprzętem i instalacją, które zawierają elektryczne i/lub elektroniczne części składowe.

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ



Artykuł 2 Definicje

1. Do celów niniejszej dyrektywy stosuje się następujące definicje:
 - a) „**urządzenie**” oznacza jakąkolwiek aparaturę lub stacjonarną instalację;
 - b) „**aparatura**” oznacza każde gotowe urządzenie lub ich kombinacje ogólnodostępne na rynku jako pojedyncze jednostki funkcjonalne przeznaczone dla użytkownika końcowego i które mogą wytwarzać zaburzenia elektromagnetyczne, lub na których działanie takie zaburzenia mogą mieć wpływ;
 - c) „**instalacja stacjonarna**” oznacza szczególną kombinację kilku rodzajów aparatury oraz, w stosownych przypadkach, innych urządzeń, które są montowane, instalowane i których przeznaczeniem jest stałe użytkowanie w z góry określonym miejscu;

GUIDE FOR THE EMC DIRECTIVE 2004/108/EC PRZEWODNIK DO DYREKTYWY 2004/108/WE



Przykłady instalacji stacjonarnych

Industrial plants, power plants, power supply networks, telecommunication networks, cable TV networks, computer networks, airport luggage handling installations, airport runway lighting installations, automatic warehouses, skating hall ice rink machinery installations, storm surge barrier installations (with the control room etc), wind turbine stations, car assembly plants, water pumping stations, water treatment plants, railway infrastructures, air conditioning installations....

The definition covers all installations from the smallest residential electrical installation through to national electrical and telephone networks, including all commercial and industrial installations.

EMC covers conducted and radiated phenomena over the whole frequency range from 0 Hz to 400 GHz....

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

- (13) Normy zharmonizowane odzwierciedlają powszechny stan techniki w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej w Unii Europejskiej. W związku z tym w interesie funkcjonowania rynku wewnętrznego leży opracowanie norm kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń, zharmonizowanych na poziomie wspólnotowym; w chwili gdy odesłanie do takiej normy zostało opublikowane w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej osiągnięcie zgodności z tą normą oznacza **domniemanie**, że osiągnięto zgodność z odpowiednimi wymaganiami zasadniczymi, chociaż należy zezwolić na inne środki wykazujące taką zgodność. ...

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ WYMAGANIA ZASADNICZE

Urządzenia są projektowane i produkowane w taki sposób, by, przy uwzględnieniu stanu techniki, zapewnić, żeby:

- a) wytwarzane zaburzenia elektromagnetyczne nie przekraczały poziomu, powyżej którego urządzenia radiowe i telekomunikacyjne lub inne urządzenia nie mogą działać zgodnie z przeznaczeniem;**
- b) poziom odporności tych urządzeń na zaburzenia elektromagnetyczne jakich należy spodziewać się podczas użytkowania zgodnie z przeznaczeniem, pozwalał na działanie urządzenia bez niedopuszczalnego pogorszenia jakości jego użytkowania zgodnego z przeznaczeniem.**

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

ZAŁĄCZNIK II

PROCEDURA OCENY ZGODNOŚCI

1. Producent przeprowadza ocenę zgodności kompatybilności elektromagnetycznej aparatury, w oparciu o odpowiednie zjawiska, mając na celu spełnienie wymagań w zakresie ochrony, o których mowa w załączniku I pkt 1. **Prawidłowe stosowanie wszystkich odpowiednich norm zharmonizowanych**, do których odesłania zostały opublikowane w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej jest równoważne z przeprowadzeniem oceny kompatybilności elektromagnetycznej.

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

(17) W przypadku, gdy aparatura może występować w różnych konfiguracjach, ocena kompatybilności elektromagnetycznej powinna potwierdzić, że aparatura spełnia wymagania ochronne w konfiguracjach możliwych do przewidzenia przez producenta, jako reprezentatywne przykłady zwykłego używania zgodnie z przeznaczeniem; w takim przypadku powinno być wystarczające **przeprowadzenie oceny na podstawie konfiguracji, która może powodować największe zaburzenia oraz konfiguracji najbardziej podatnej na zaburzenia.**

The “worst case” scenario

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

(14) Producenci urządzeń, które mają być dołączone do sieci powinni te urządzenia konstruować w taki sposób, by działanie tych sieci nie ulegało pogorszeniu w stopniu niemożliwym do zaakceptowania, przy działaniu w zwykłych warunkach użytkowania. **Operatorzy sieci powinni budować swoje sieci w taki sposób, by producenci urządzeń, które mogą być dołączone do sieci nie byli narażeni na nadmierne obciążenia związane z zapobieganiem występowaniu niemożliwego do zaakceptowania pogorszenia jakości usług.** Przy opracowywaniu norm zharmonizowanych europejskie organizacje normalizacyjne powinny w sposób odpowiedni uwzględniać ten cel (w tym **efekty kumulowania się** odpowiednich typów zjawisk elektromagnetycznych).

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

(16) Obowiązek zapewnienia oceny zgodności powinien się wiązać z obowiązkiem producenta do przeprowadzenia oceny kompatybilności elektromagnetycznej aparatury, **w oparciu o odpowiednie zjawiska**, w celu określenia czy spełnia ona wymagania ochronne zawarte w niniejszej dyrektywie

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

(18) Instalacje stacjonarne, w tym duże maszyny i sieci, mogą powodować zaburzenia elektromagnetyczne lub być poddane oddziaływaniu takich zaburzeń. Między instalacjami stacjonarnymi a aparaturą może być zainstalowany interfejs, a zaburzenia elektromagnetyczne wytwarzane przez stałe instalacje mogą mieć wpływ na aparaturę, i odwrotnie. Z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej jest bez znaczenia czy zaburzenie elektromagnetyczne jest wytwarzane przez aparaturę czy instalację stacjonarną. Dlatego też instalacje stacjonarne i aparatura powinny być objęte spójnym i szerokim **systemem wymagań zasadniczych. Należy umożliwić stosowanie norm zharmonizowanych dotyczących instalacji stacjonarnych** w celu wykazania zgodności z wymaganiami zasadniczymi, objętymi takimi normami.

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

WYMAGANIA SZCZEGÓLNE DLA INSTALACJI STACJONARNYCH

Instalacja stacjonarna jest instalowana przy użyciu profesjonalnych metod inżynierskich i z uwzględnieniem informacji dotyczących użycia komponentów zgodnie z przeznaczeniem, mając na celu spełnienie wymagań w zakresie ochrony, o których mowa w pkt. 1. Zastosowane metody są udokumentowane, a dokumentacja ta jest przechowywana, przez odpowiedzialną osobę lub osoby, do wglądu odpowiednich władz krajowych do celów kontrolnych, tak długo jak instalacja stacjonarna pozostaje w użyciu.

„Good engineering practice”

DYREKTYWA 2004/108/WE O ZBLIŻENIU REGULACJI PRAWNYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH W ZAKRESIE KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ



(23) Dlatego uchyla się dyrektywę 89/336/EWG.

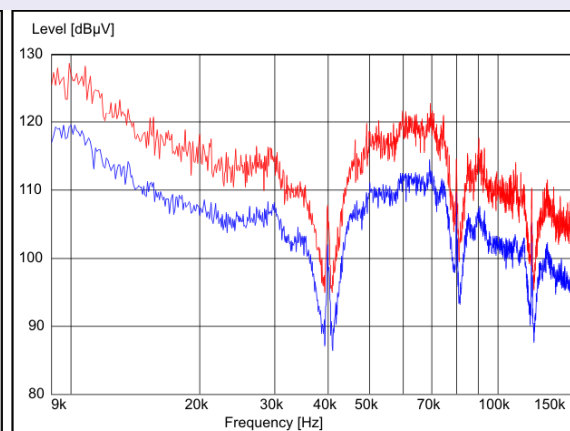
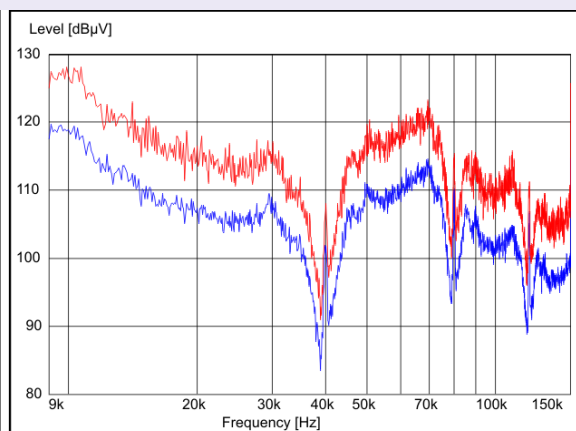
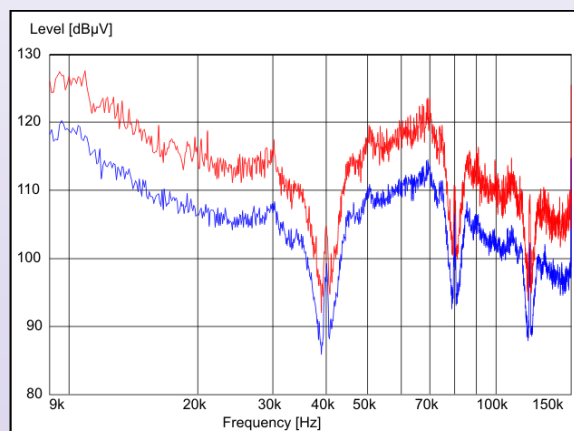
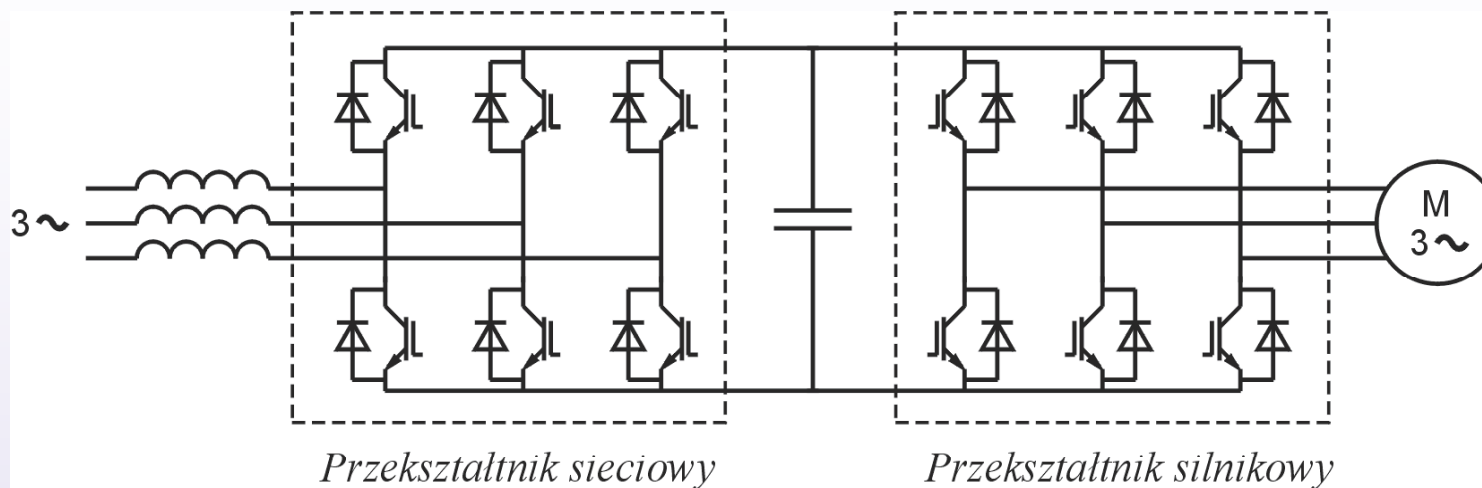
KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA W SYSTEMACH ROZPROSZONYCH – WYZWANIA I PROBLEMY



1. Brak spójnego systemu norm zharmonizowanych dla instalacji – konieczność badań *in situ*.
1. Rozprzestrzenianie się zaburzeń w rozległych sieciach (w tym głębokość penetracji zaburzeń w sieć w zależności od częstotliwości)
2. Efekty kumulacji zaburzeń.
3. Metody zapewniania kompatybilności elektromagnetycznej.

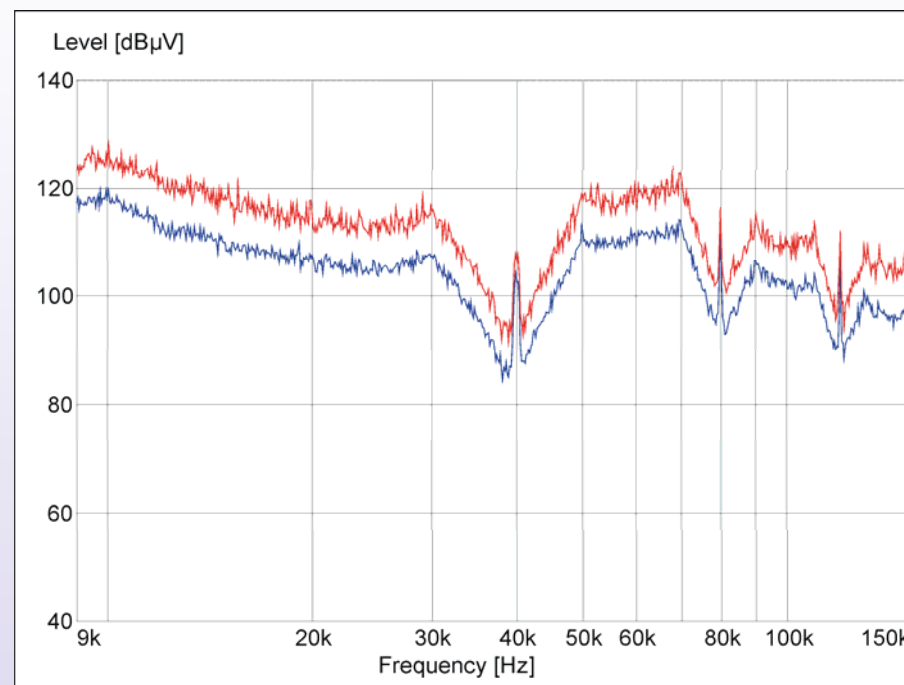
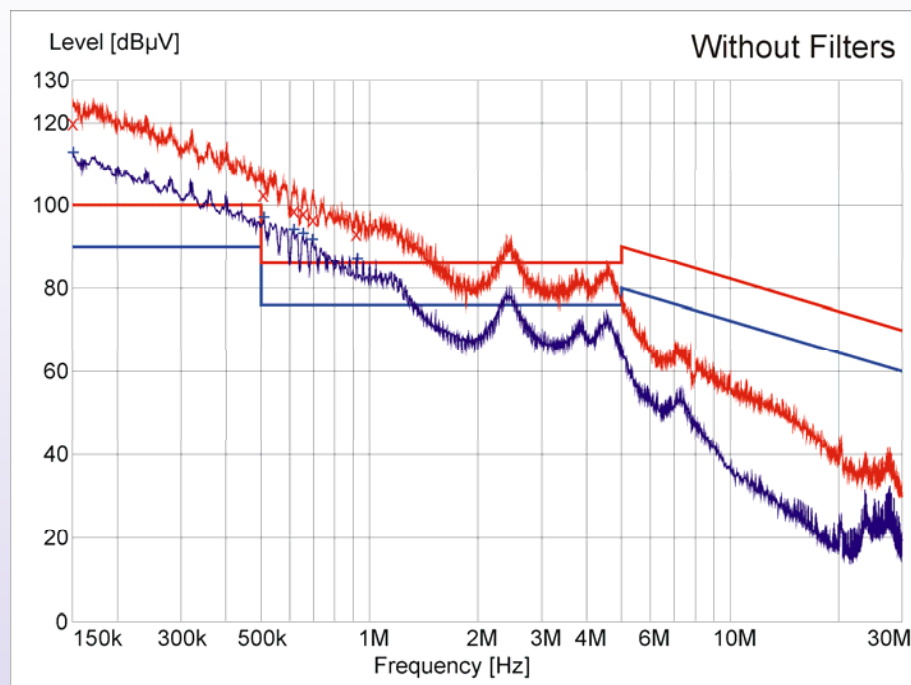
Zaburzenia przewodzone w układzie 4-kwadrantowego przemiennika częstotliwości

Zaburzenia przewodzone w układzie czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości



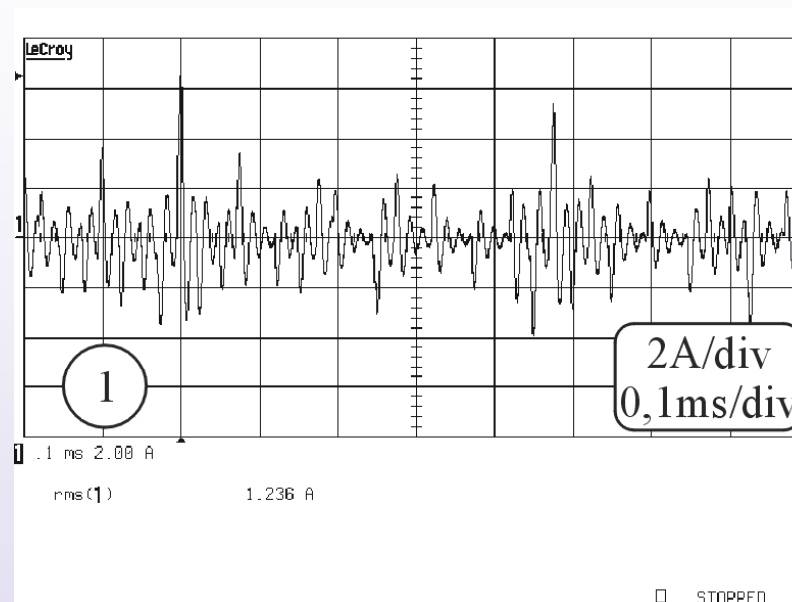
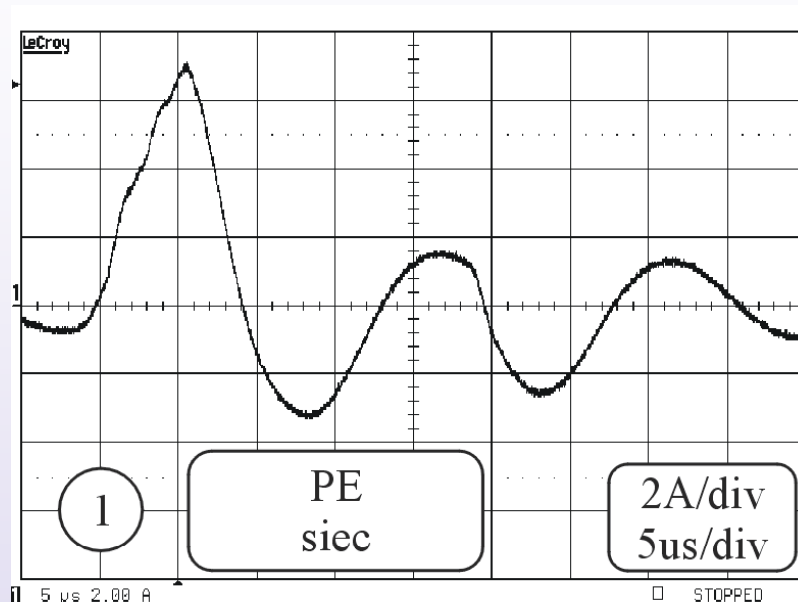
Schemat przekształtnika czterokwadrantowego oraz widma prądów
zaburzeń CM po stronie sieci w różnych stanach pracy

Zaburzenia przewodzone w układzie czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości



Widmo zaburzeń przewodzonych

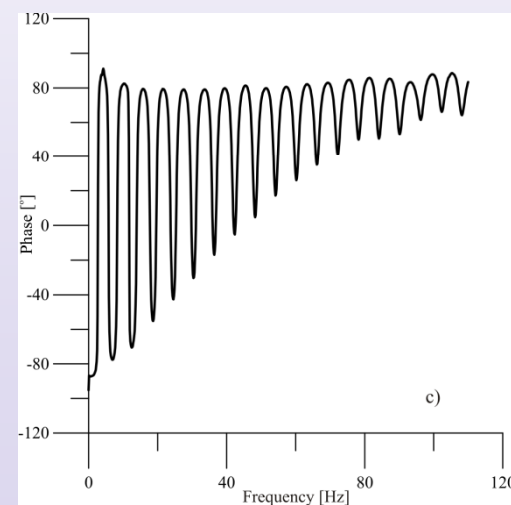
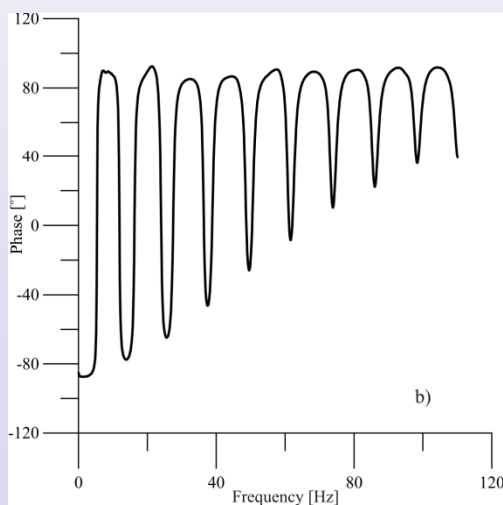
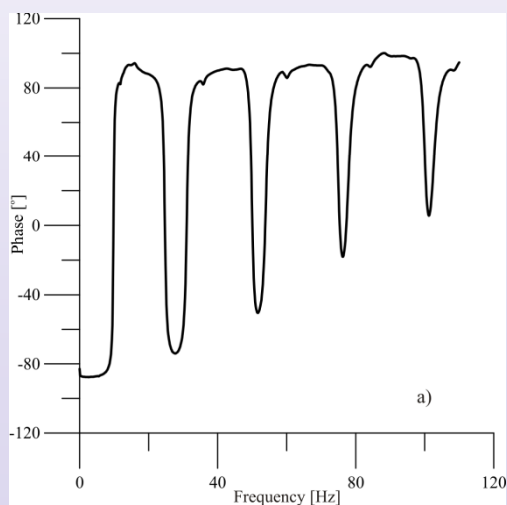
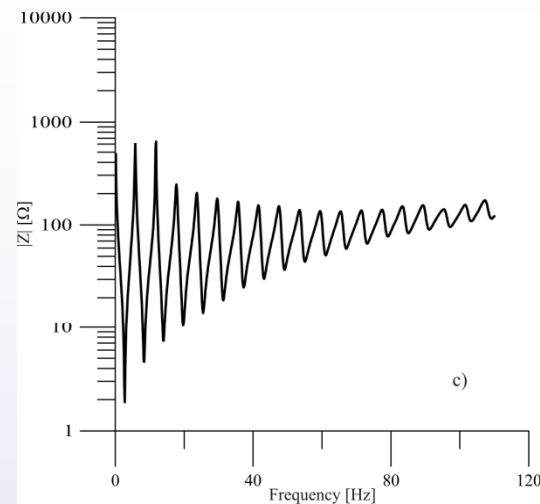
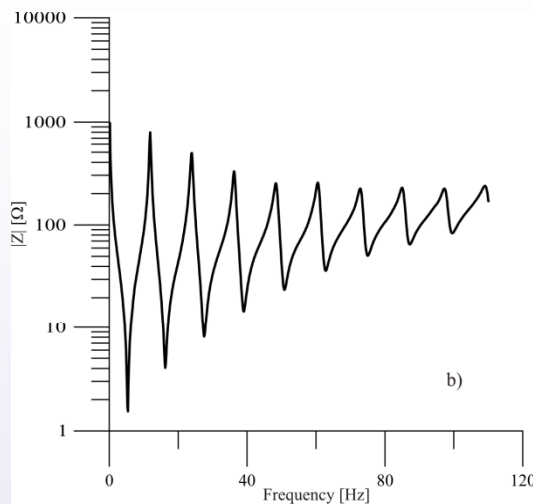
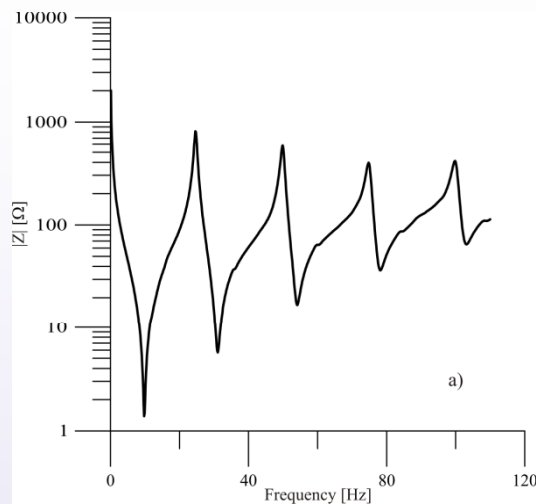
Zaburzenia przewodzone w układzie czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości



Przebieg prądów zaburzeń CM po stronie sieci

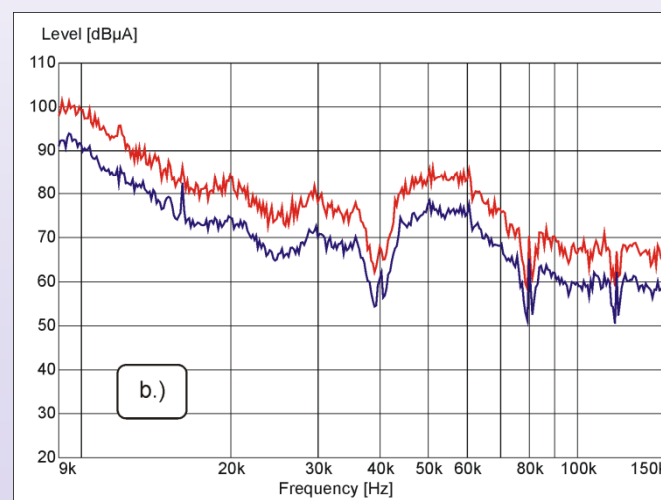
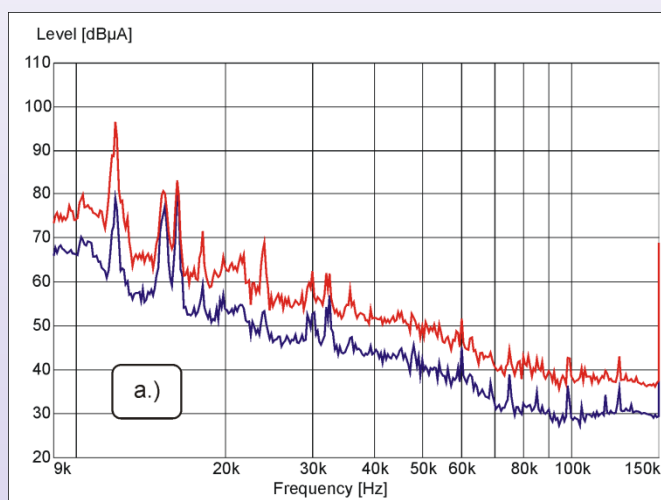
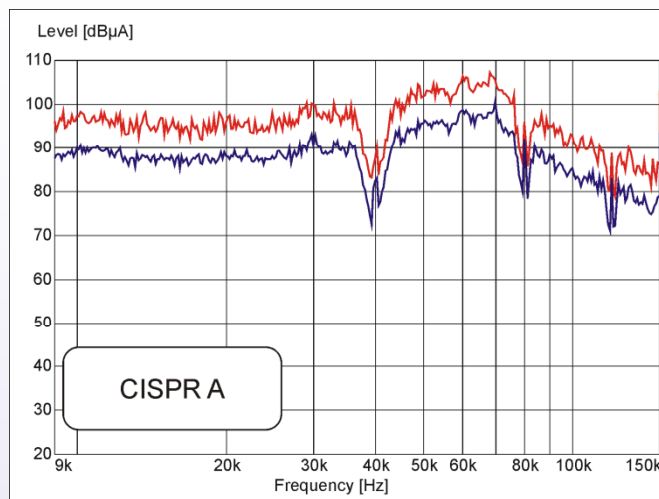
Rozpływ zaburzeń przewodzonych CM w sieci elektroenergetycznej

Rozpływ zaburzeń przewodzonych CM w sieci elektroenergetycznej



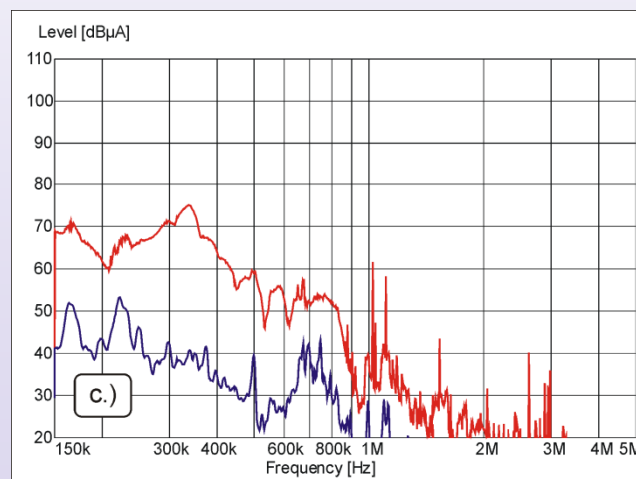
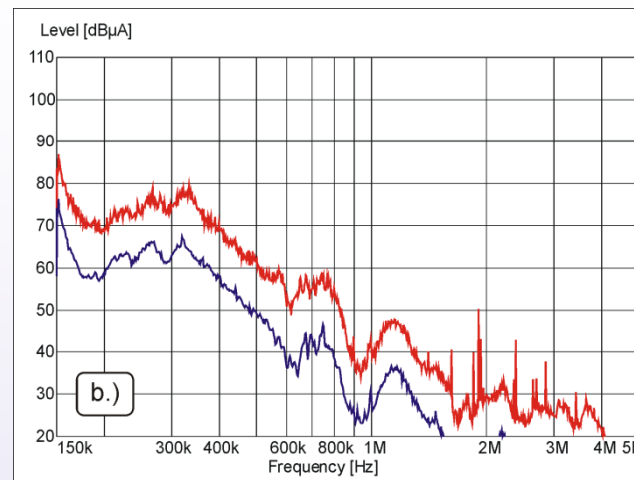
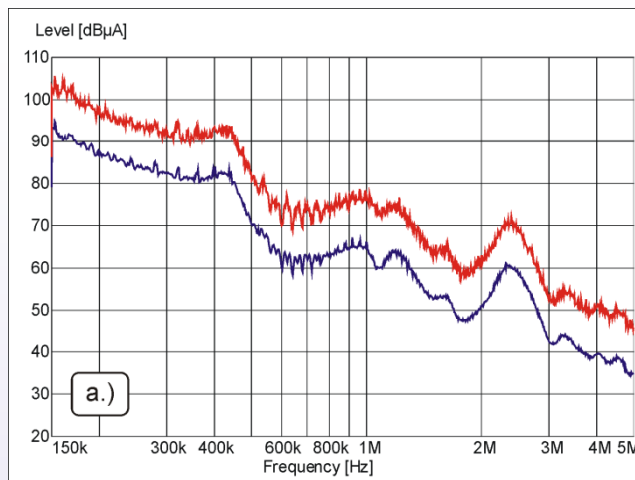
Charakterystyka częstotliwościowa modułu i fazy impedancji CM kabla
YAKY 4x25mm² : (a) 2.5 m, (b) 5 m, (c) 10 m

Rozpływ zaburzeń przewodzonych CM w sieci elektroenergetycznej



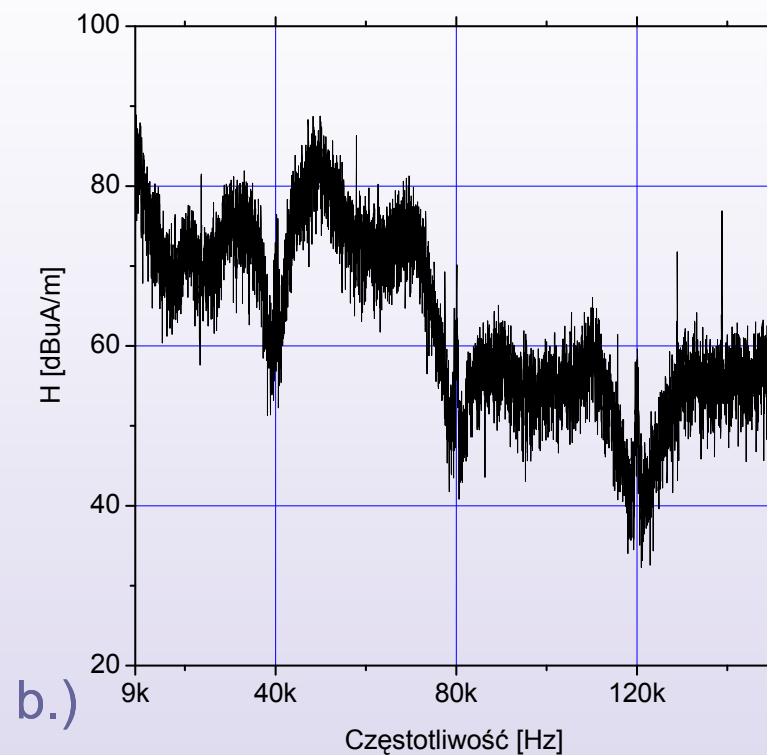
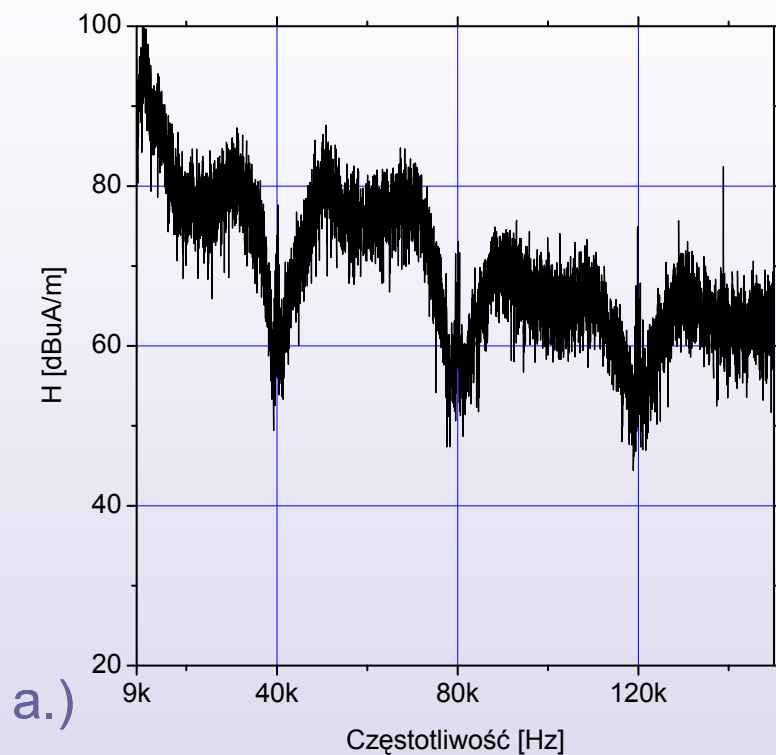
Widmo prądu CM w przewodzie PE przekształtnika oraz widma prądów CM
w przewodzie PE kabla zasilającego stację transformatorową (300m):
a.) przekształtnik wyłączony, b.) przekształtnik włączony

Penetration of CM interferences generated by 4-quadrant frequency converters into electric grid



- a) Widmo prądu CM w przewodzie PE przekształtnika oraz widma prądów CM w przewodzie PE kabla zasilającego stację transformatorową (300m):
a.) przekształtnik wyłączony, b.) przekształtnik włączony

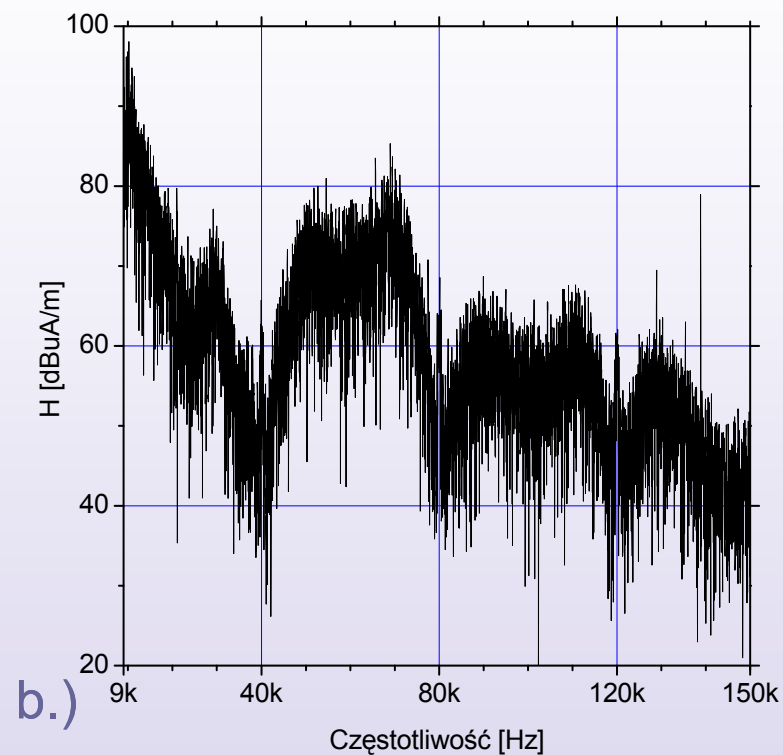
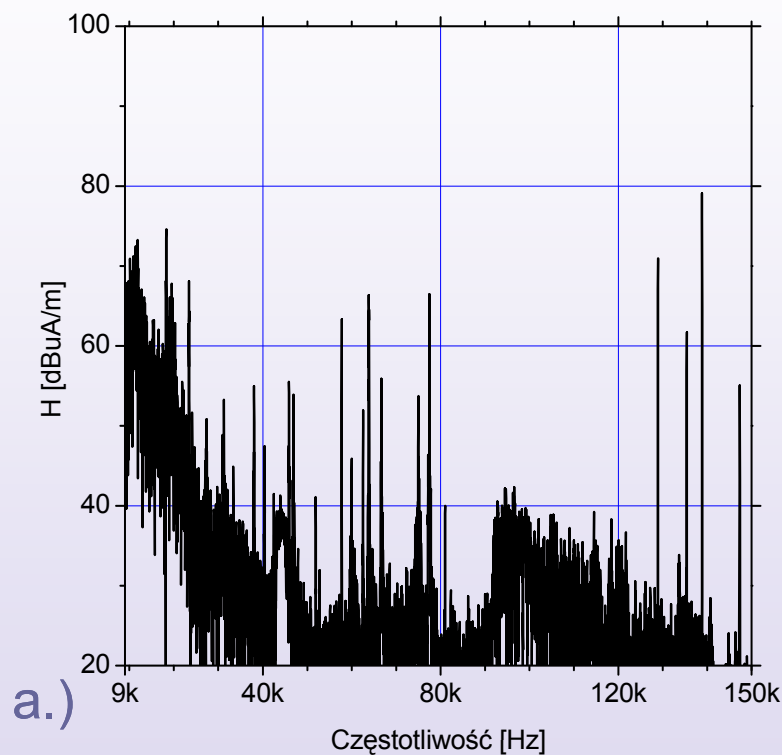
Pomiary zaburzeń przewodzonych w liniach napowietrznych SN



Widmo natężenia pola magnetycznego:

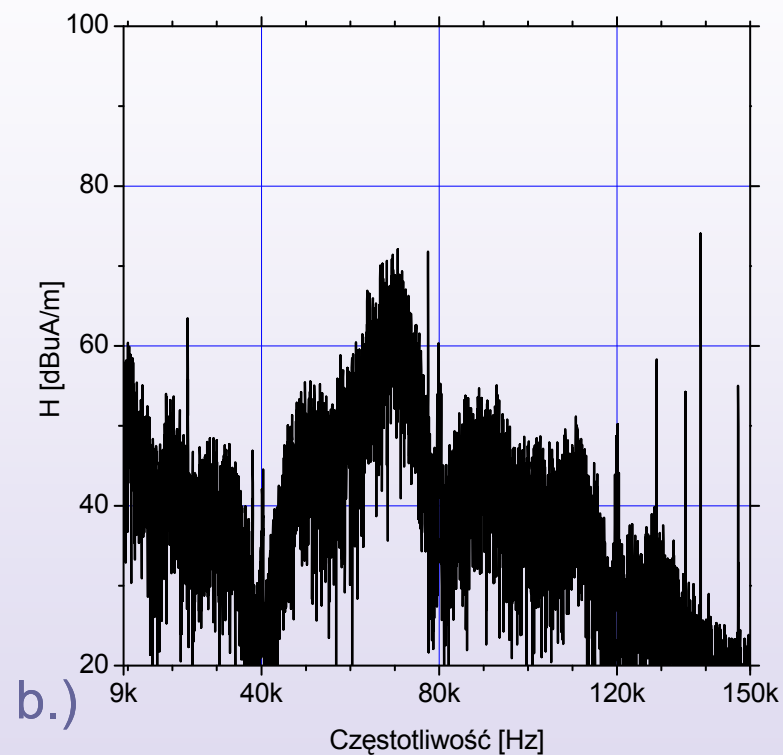
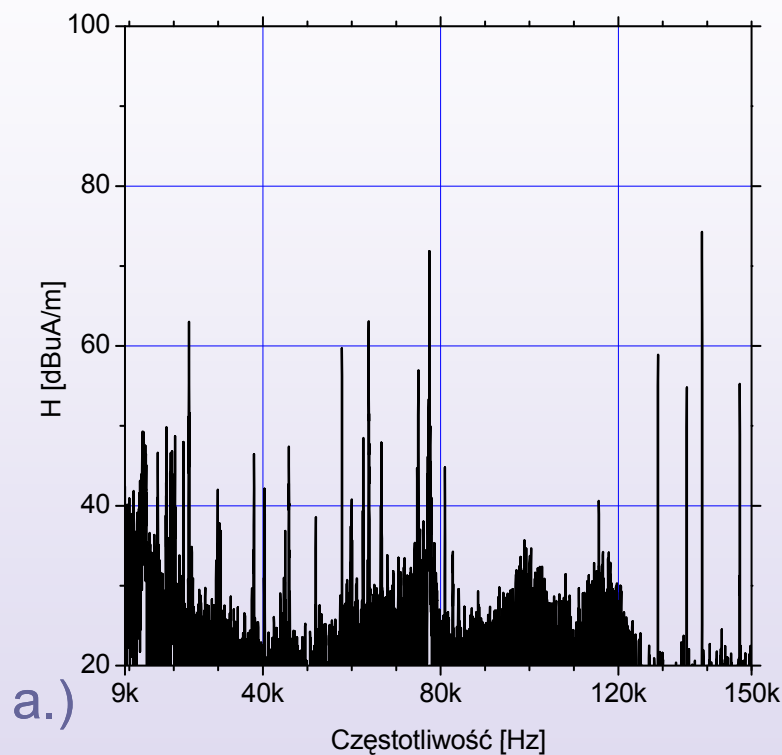
- a) po stronie pierwotnej transformatora dla włączonego przekształtnika,
- b) po stronie wtórnej transformatora dla włączonego przekształtnika

Pomiary zaburzeń przewodzonych w liniach napowietrznych SN



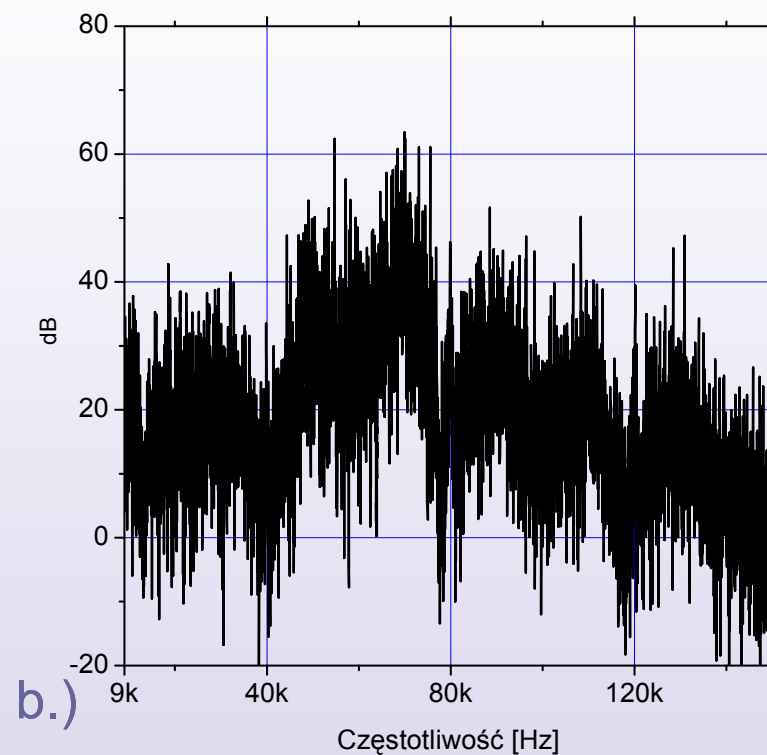
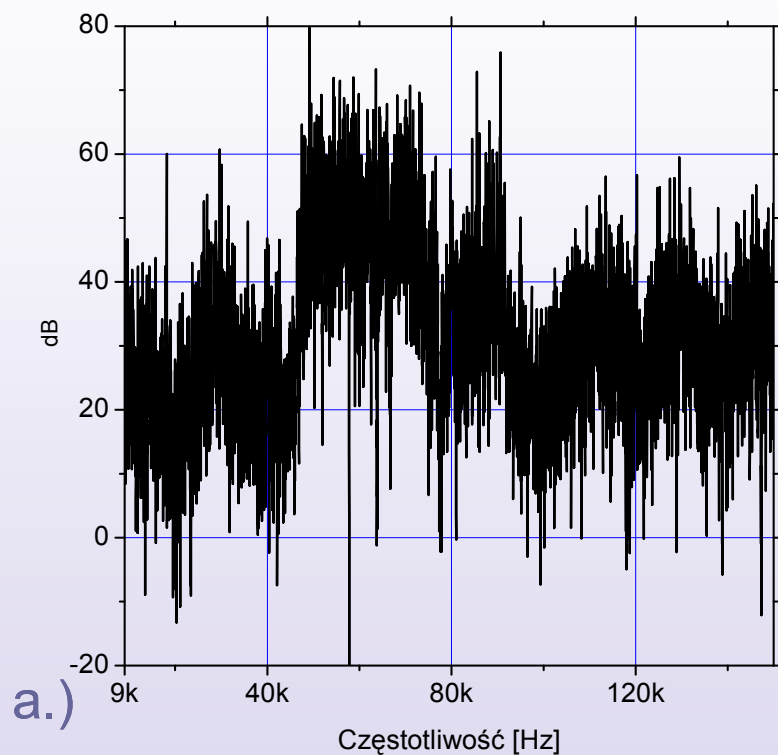
Widmo natężenia pola magnetycznego pod linią SN
w odległości 20 m od stacji transformatorowej:
a) przekształtnik wyłączony, b) przekształtnik włączony

Pomiary zaburzeń przewodzonych w liniach napowietrznych SN



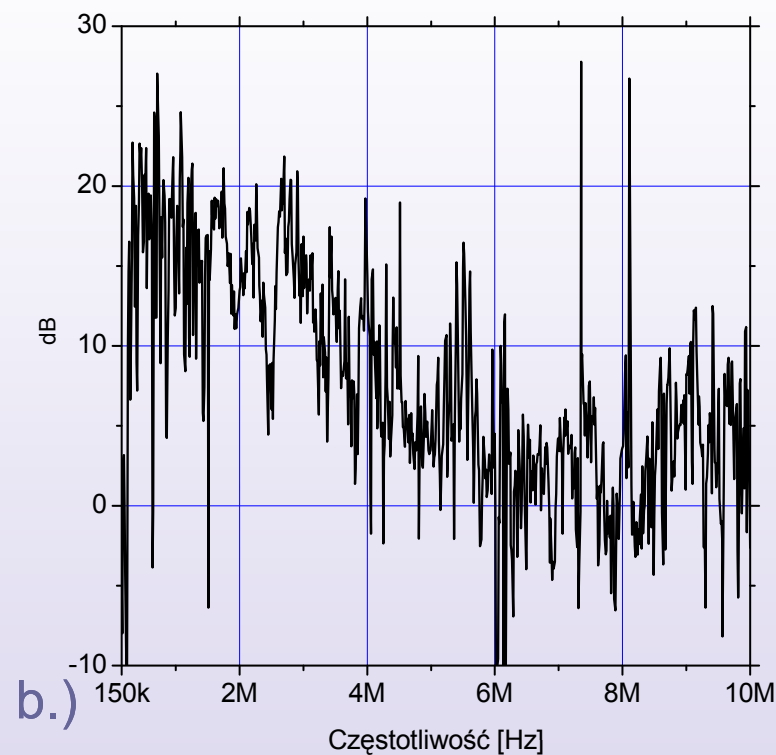
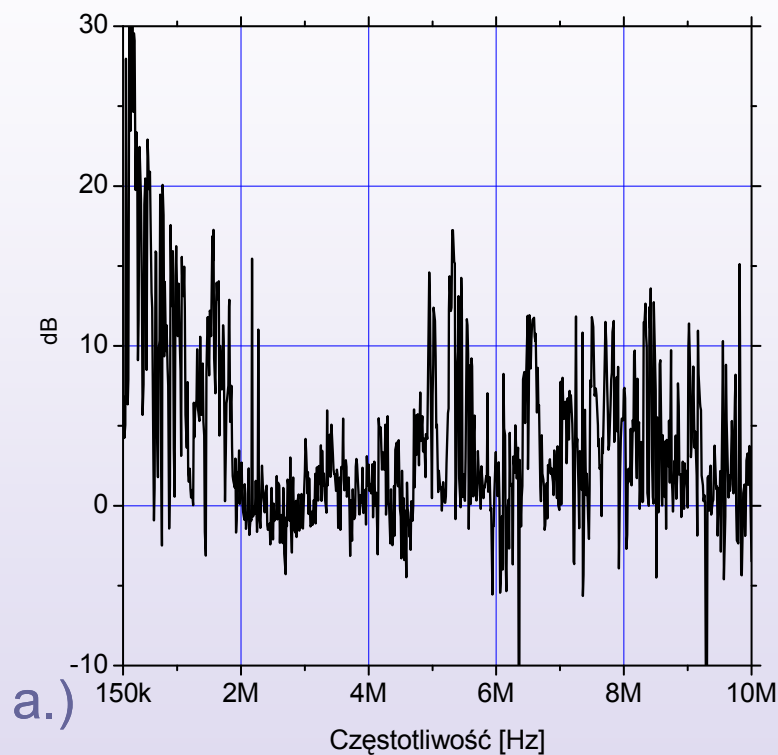
Widmo natężenia pola magnetycznego pod linią SN
w odległości 1300 m od stacji transformatorowej:
a) przekształtnik wyłączony, b) przekształtnik włączony

Pomiary zaburzeń przewodzonych w liniach napowietrznych SN



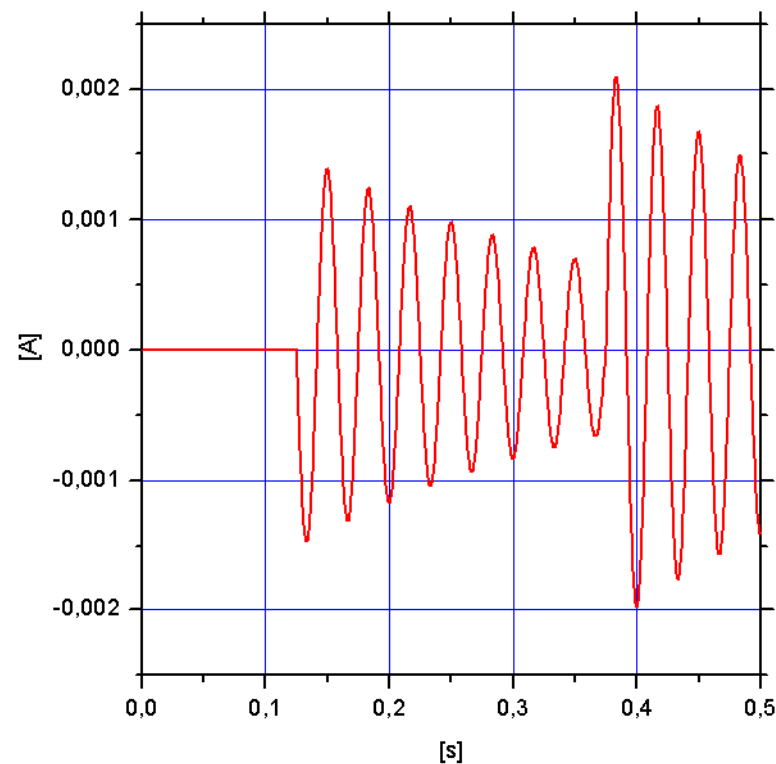
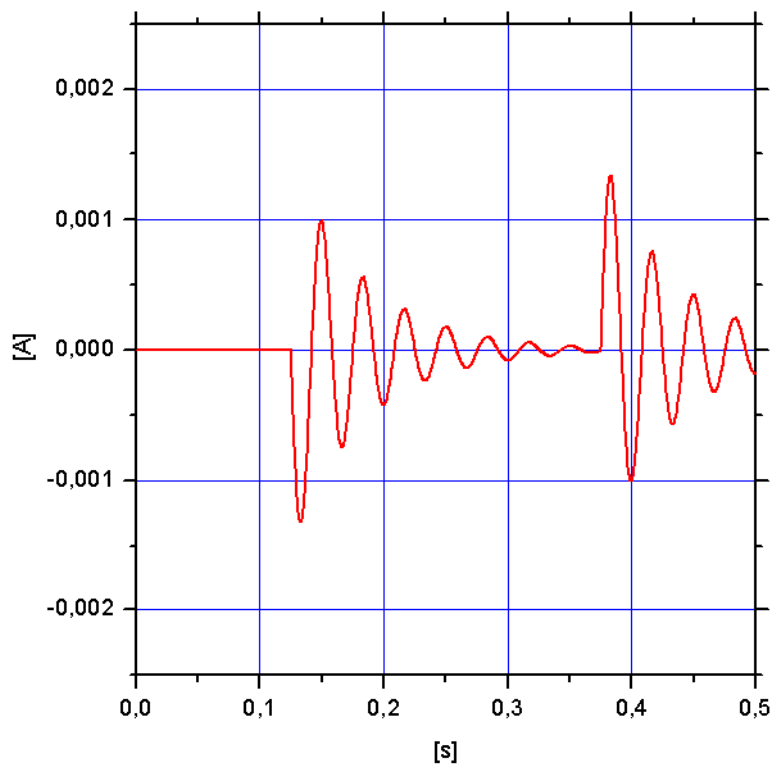
Różnica zaburzeń zmierzonych pod siecią SN i zaburzeń tła:
a) w odległości 20 m od stacji transformatorowej,
b) w odległości 1300 m od stacji transformatorowej

Pomiary zaburzeń przewodzonych w liniach napowietrznych SN



Różnica zaburzeń zmierzonych pod siecią SN i zaburzeń tła:
a) w odległości 20 m od stacji transformatorowej,
b) w odległości 1300 m od stacji transformatorowej

Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych



Przebiegi oscylacyjne tłumione dla różnych współczynników tłumienia

Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych

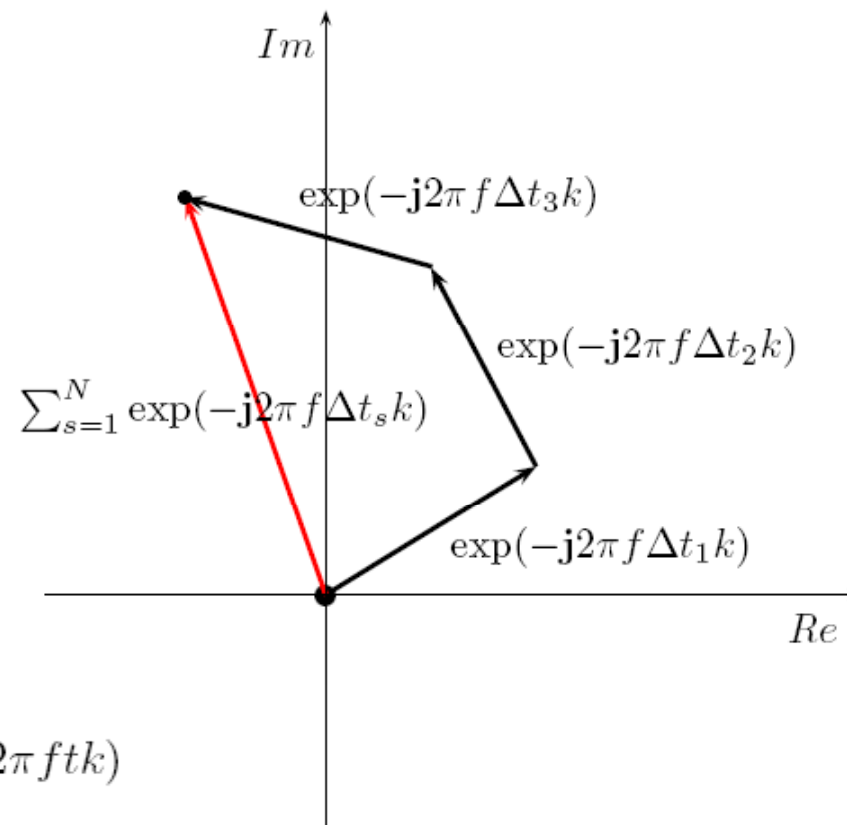


$$\sum_{s=1}^N \exp(-j2\pi f \Delta t_s k)$$

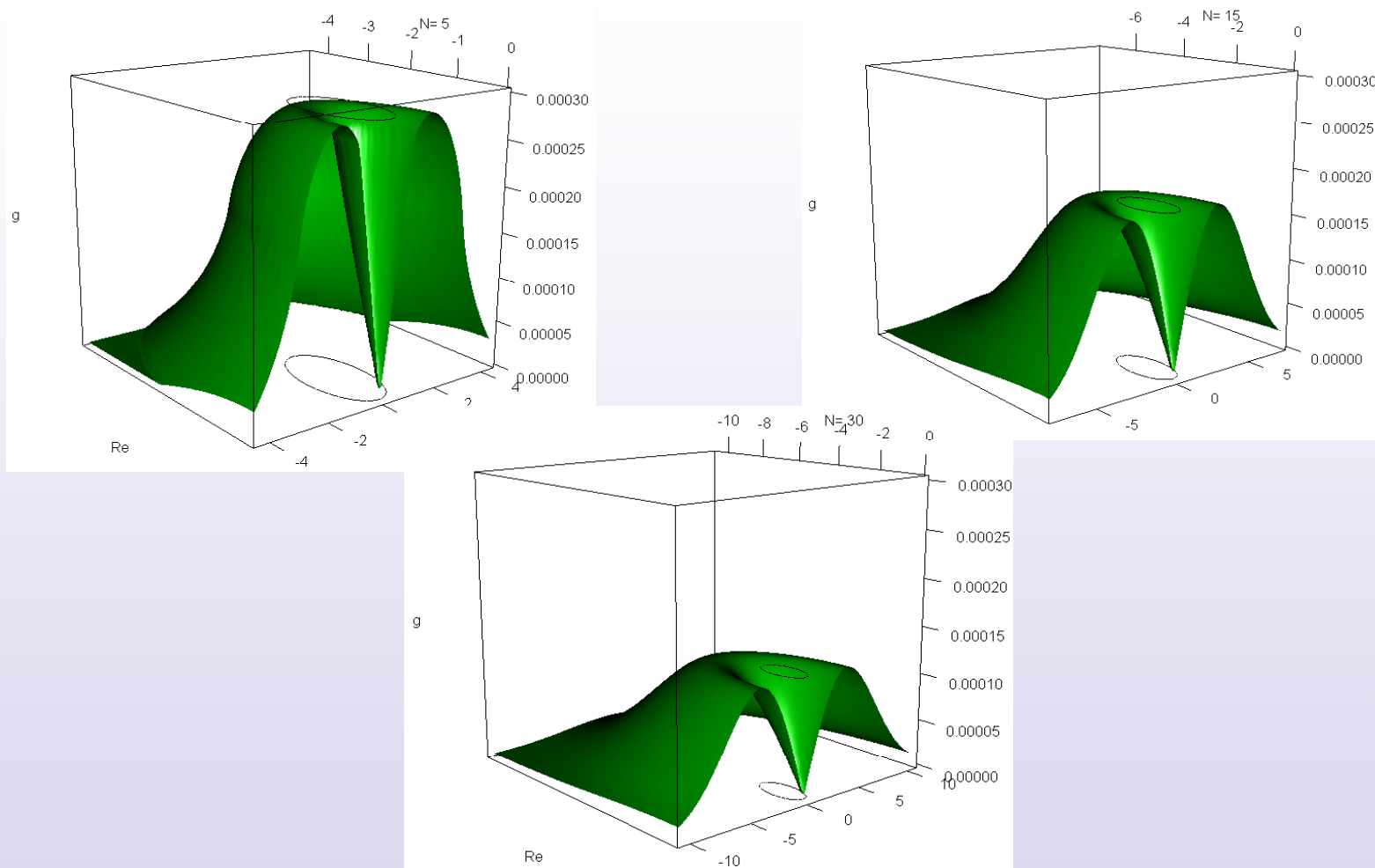
$$P(0 \leq R \leq r) = r \int_0^{\infty} (J_0(t))^N J_1(rt) dt$$

$$H(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \hat{h}[k] (1 + R_N \exp(-j2\pi f \Delta t k)) \exp(j2\pi f t k)$$

$$W = |1 + R_N \exp(-j2\pi f \Delta t k)|$$

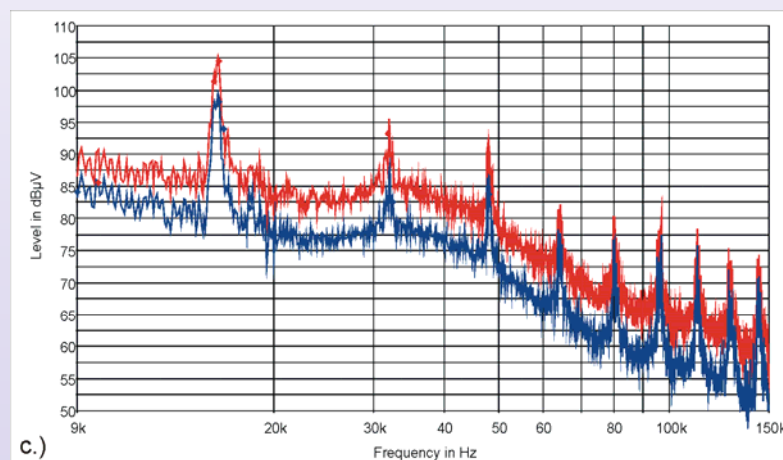
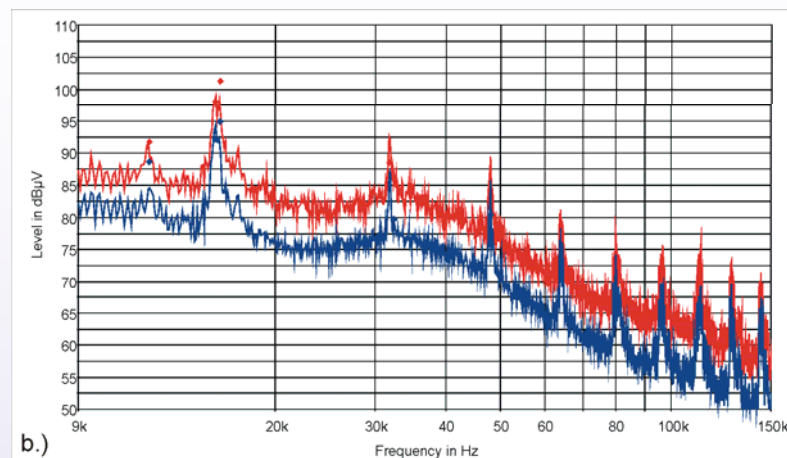
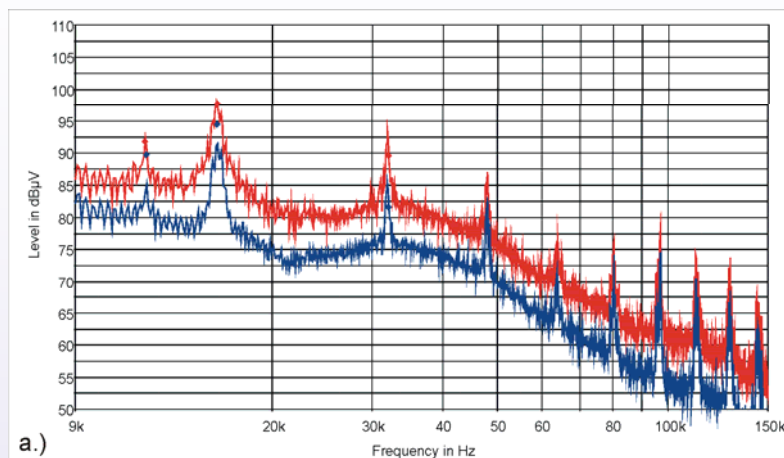


Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych



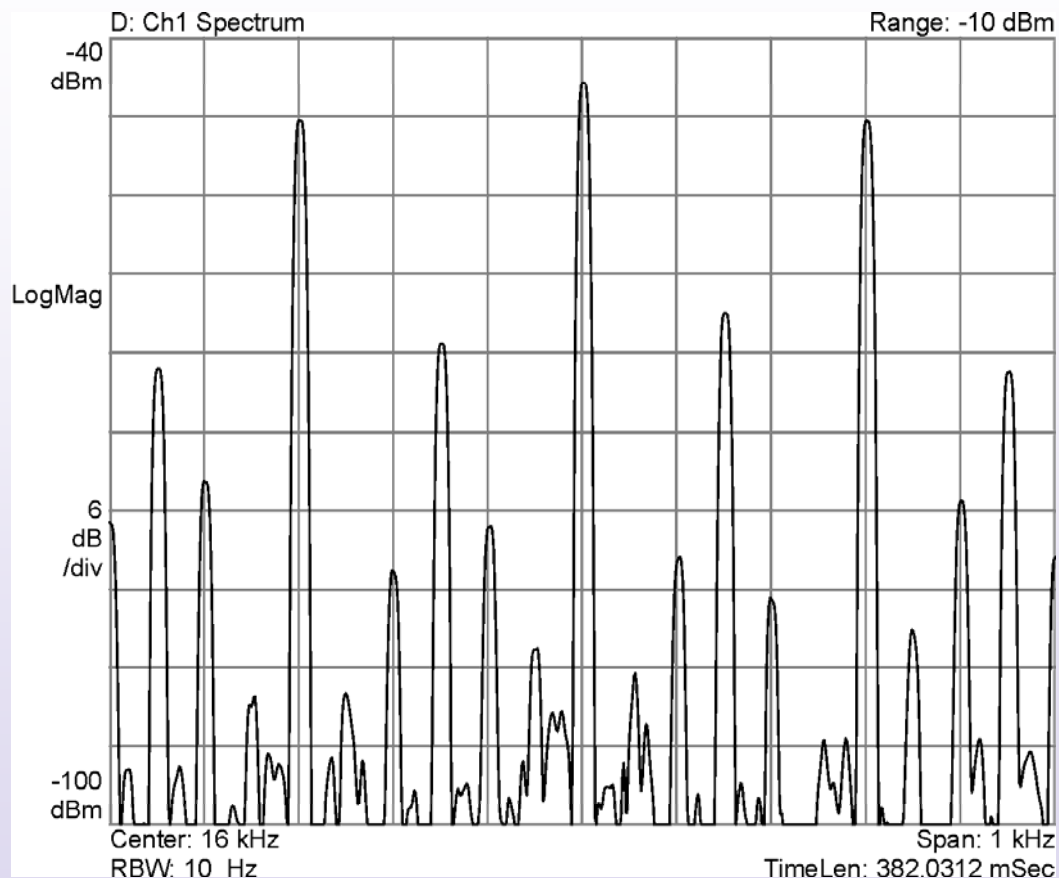
Wykresy przedstawiające prawdopodobieństwo zmniejszenia amplitudy k -tej harmonicznej dla: a.) 5-ciu przekształtników, b.) 15-tu przekształtników, c.) 30-tu przekształtników,

Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych



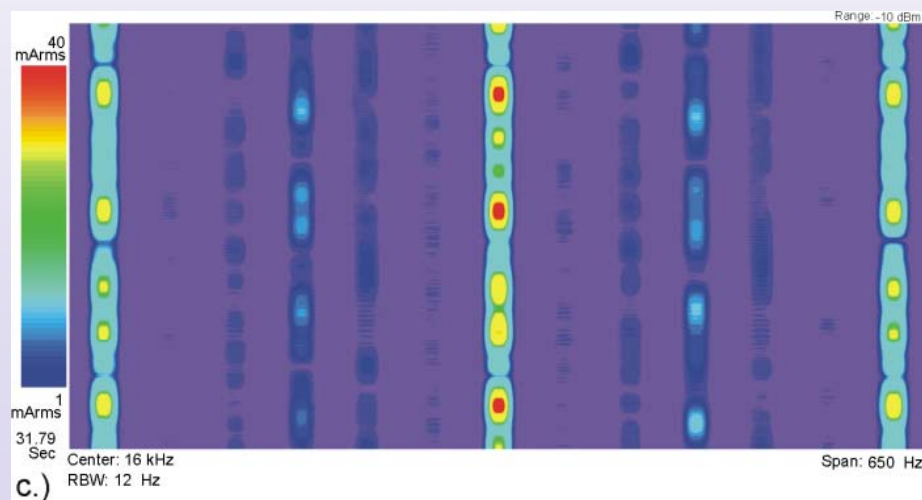
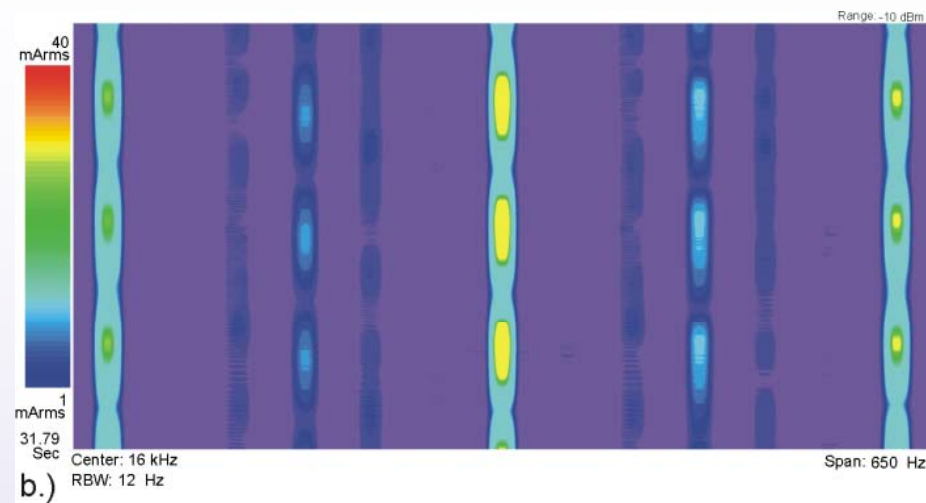
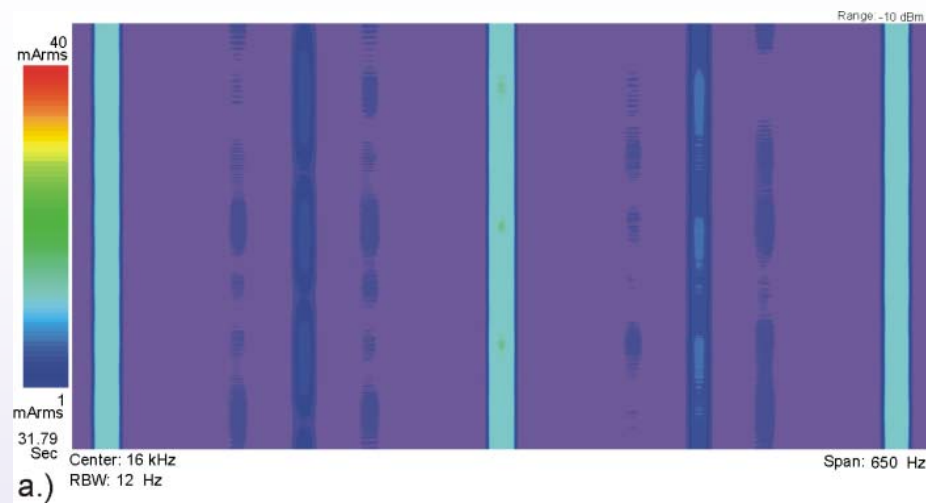
Widmo zaburzeń w zakresie częstotliwości CISPR A:
a.) jeden przekształtnik, b.) dwa przekształtniki, trzy przekształtniki

Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych



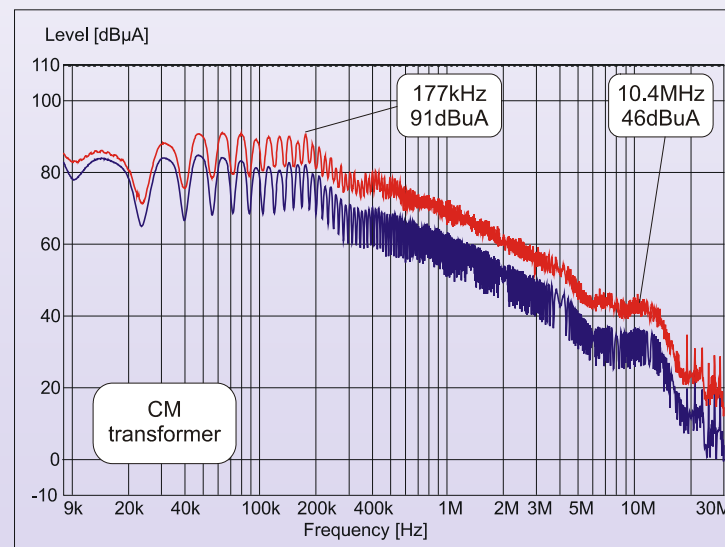
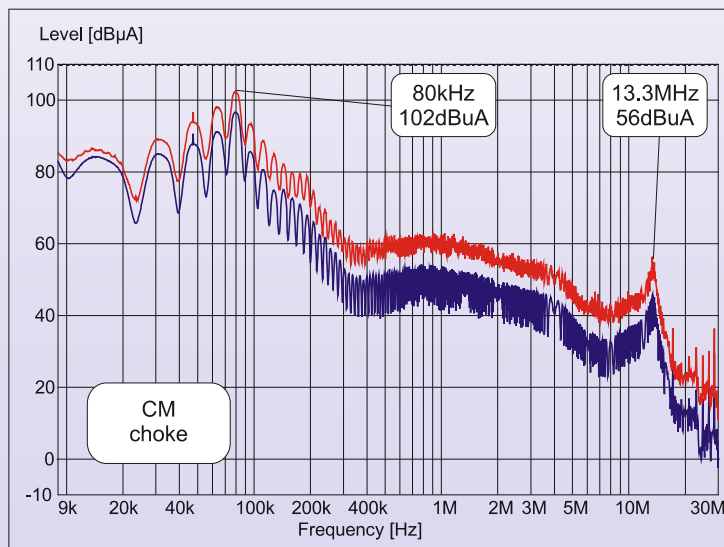
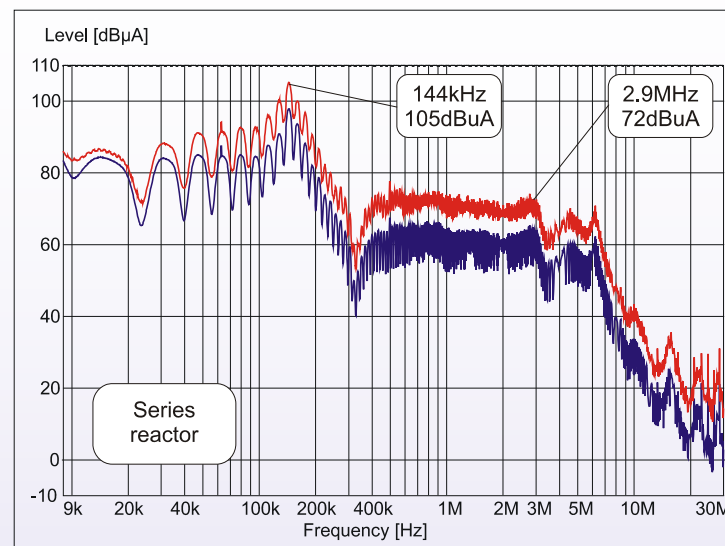
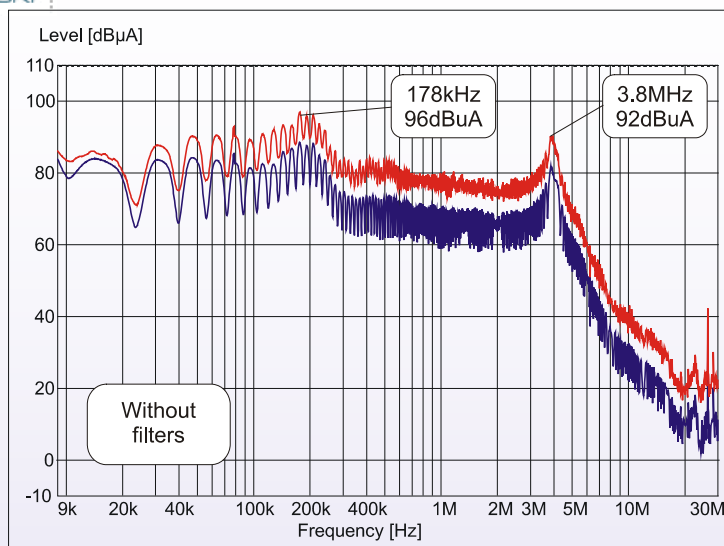
Widmo prądu zaburzeń CM

Zaburzenia przewodzone generowane przez grupę przekształtników energoelektronicznych

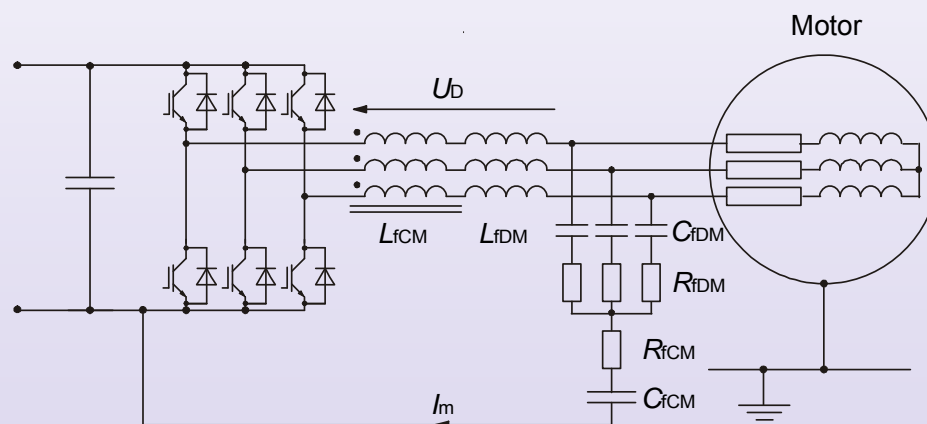
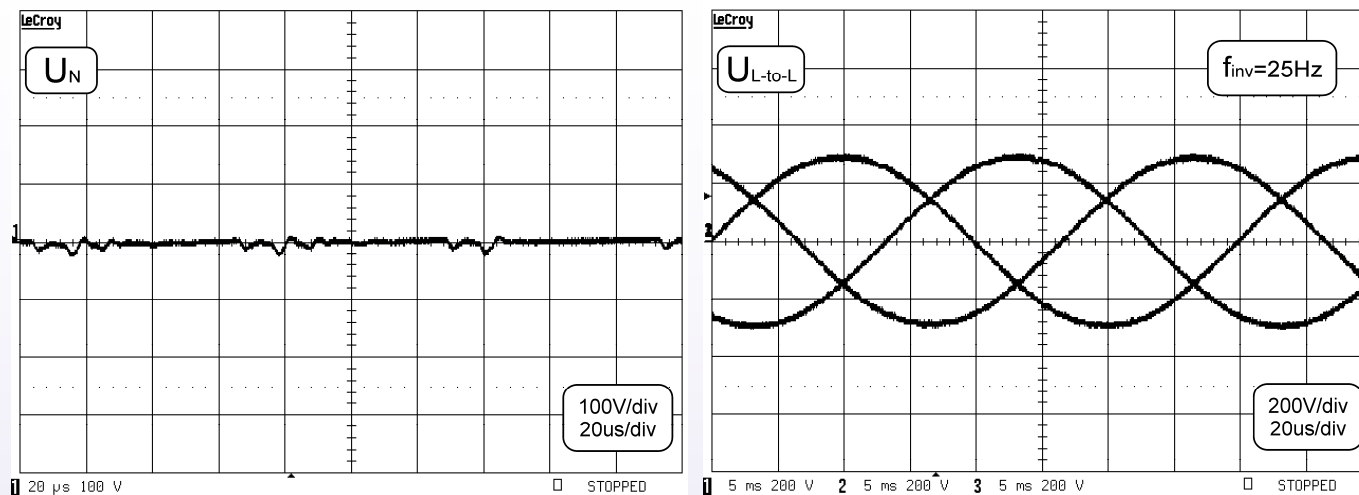


Spektrogramy dla częstotliwości łączy: a.) jeden przekształtnik, b.) dwa przekształtniki, c.) trzy przekształtniki

Tłumienie i eliminacja zaburzeń

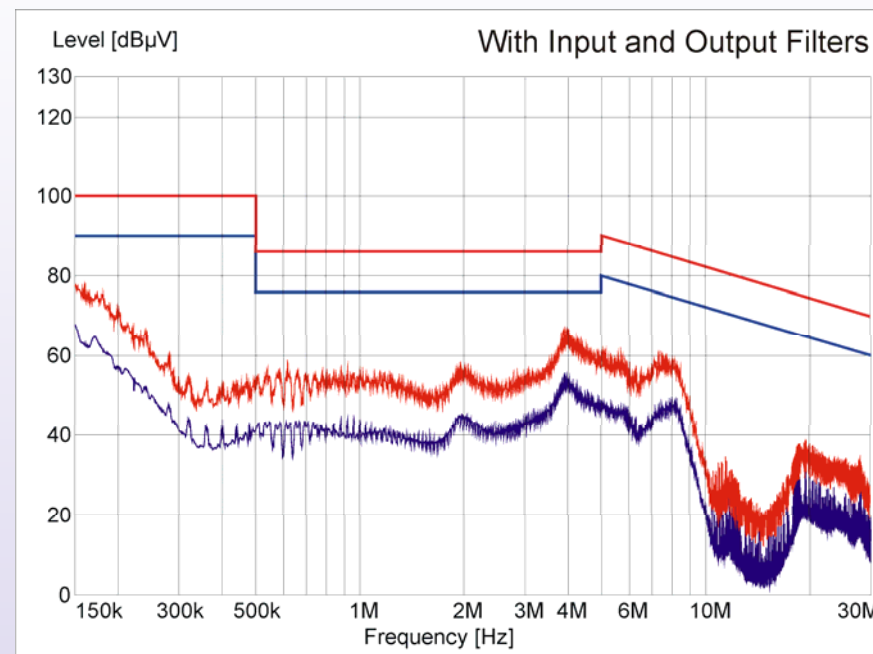
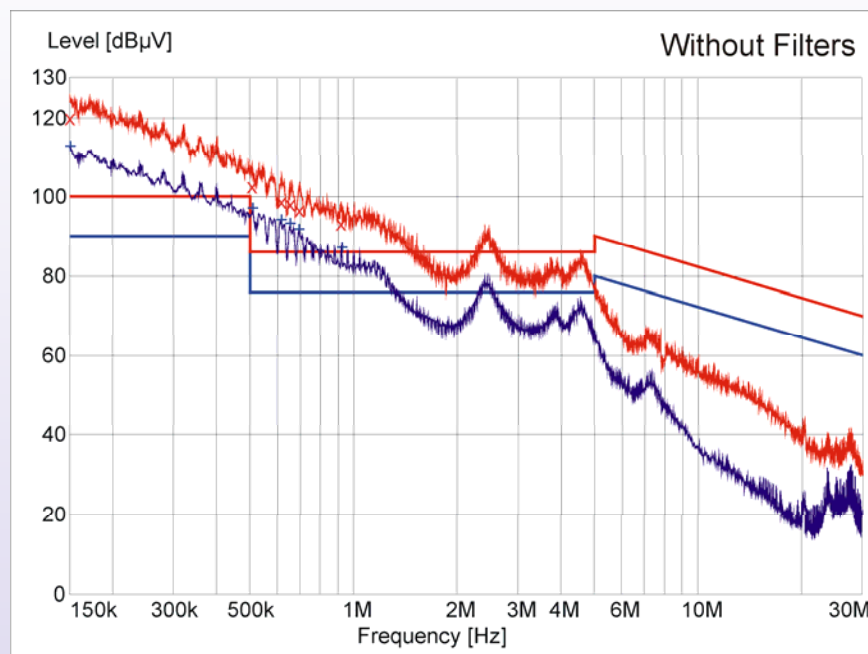


Widma zaburzeń w układzie napędowym z różnymi fitrami pasywnymi



Napięcie zaburzeń wspólnych U_N i napięcia międzyfazowe w układzie napędowym z „sinusoidalnym” filtrem pasywnym.

Zaburzenia przewodzone w układzie czterokwadrantowego przemiennika częstotliwości



Widmo zaburzeń przewodzonych
a) dla układu bez filtrów, b) z filtrami