

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

Instytut Elektroenergetyki

Zakład Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych



Imię Nazwisko

***PDtracker* – SYSTEM MONITORINGU
WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH
W TRANSFORMATORZE ENERGETYCZNYM**

Promotor: dr inż. Wojciech Sikorski

Pracę przyjmuję i akceptuję

.....
data i podpis opiekuna pracy

Poznań, 2015

Streszczenie

W pracy omówiono problematykę monitoringu wyładowań niepełnych (wnz) w transformatorze energetycznym przy użyciu systemu PDtracker. Dodatkowo przedstawiono nowe moduły sprzętowe i programowe, które poprawiły skuteczność jego działania (funkcja automatycznej identyfikacji wyładowań niepełnych, funkcja długookresowej łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej, moduł detekcji wnz w paśmie wysokich częstotliwości, moduł bezdotykowego pomiaru wysokiego napięcia).

Słowa kluczowe: *wyładowania niepełne, monitoring transformatora energetycznego.*

Abstract

Title: *PDtracker — on-line partial discharge monitoring system for power transformers.*

The issue of partial discharge monitoring in power transformer using PDtracker system was discussed in the paper. Additionally, the new software and hardware modules, which improved effectiveness of its functioning (e.g. automatic partial discharge recognition, long-term joint time-frequency analysis, partial discharge detection module in high frequency range, non-contact high voltage measurement device) were presented.

Key words: *partial discharge, power transformer monitoring.*

Spis treści

Wstęp	2
1 Funkcja automatycznej identyfikacji rodzaju wyładowań niezupełnych	3
1.1 Problematyka identyfikacji wyładowań niezupełnych	3
1.2 Opis algorytmu	3
1.3 Identyfikacja sygnałów EA generowanych przez wyładowania niezupełne . .	4
2 Funkcja długookresowej, łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej sygnałów EA	7
3 Moduł detekcji wyładowań niezupełnych w paśmie wysokich częstotliwości (HF)	9
3.1 Niekonwencjonalne metody detekcji wnz	9
3.2 Budowa modułu HF	10
4 Moduł bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia	13
4.1 Analiza korelacyjna parametrów EA i podstawowych parametrów pracy transformatora	13
4.2 Budowa modułu do bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia	13
Podsumowanie	15
A Tabele	18
B Wykresy	19
C Źródła wiedzy o LaTeXu	22
C.1 Po co mi LaTeX skoro mam Worda?	22
C.2 Instalacja LaTeX-a	23
C.3 Polecane strony internetowe poświęcone w całości LaTeX-owi	23
C.4 Polecane książki w języku polskim o LaTeX-ie dla piszących pracę dyplomową	23

Wstęp

Ostatnie lata przyniosły wyraźny zwrot w strategii zarządzania majątkiem sieciowym, w tym transformatorami dużych mocy. Zdarzające się coraz częściej katastrofalne w skutkach awarie, wymusiły wprowadzenie nowych regulacji i zaleceń w zakresie eksploatacji oraz diagnostyki urządzeń o strategicznym znaczeniu dla zapewnienia ciągłości dostaw energii. Dodatkowo rosnące wymagania firm ubezpieczeniowych stawiane starzejącej się, a przez to obciążonej dużym ryzykiem uszkodzenia, infrastrukturze sieciowej wymogły na operatorze zmianę dotychczasowej polityki. Jednym z przejawów tych zmian jest wprowadzenie bardziej kompleksowej diagnostyki poszczególnych komponentów transformatora oraz skrócenie przerw pomiędzy kolejnymi badaniami okresowymi. Takie podejście sprawia, że znacząco rosną koszty eksploatacji. Alternatywą dla diagnostyki okresowej stanowi obecnie monitoring transformatora prowadzony w trybie krótkookresowym (np. tygodniowy monitoring wyładowań niezupełnych metodą emisji akustycznej) lub ciągłym (system pomiarowy jest instalowany na stałe). Przy rosnących cenach eksploatacji oraz dzięki zwiększeniu niezawodności tego typu rozwiązań wydaje się, że zastosowanie systemów *on-line* jest korzystne zarówno z technicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Warto również zwrócić uwagę na to, że systemy monitoringu ciągłego wpisują się bardzo dobrze w strategię, która w najbliższej przyszłości zakłada rezygnację ze stacji obsługowych na rzecz w pełni zautomatyzowanych i zdalnie zarządzanych stacji bezobsługowych.

W 2011 roku Instytut Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej opracował system *PDtracker* będący pierwszym w kraju i jednym z pierwszych na świecie urządzeń do monitoringu *on-line* wyładowań niezupełnych. W styczniu 2012 roku system został wdrożony pilotażowo na jednej ze stacji rozdzielczych należących do Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A.

Pierwsza, prototypowa wersja systemu *PDtracker*, której doświadczenia eksploatacyjne zostały szczegółowo opisane m.in. w [1, 2, 3], pełniła przede wszystkim funkcję detektora impulsów wyładowań niezupełnych opartego na metodzie emisji akustycznej (EA). W swojej obecnej wersji *PDtracker* to zaawansowany system ekspercki z rozbudowaną warstwą programową i otwartą, w pełni skalowalną architekturą sprzętową. W niniejszym artykule omówiono wybrane, nowe funkcje systemu, które przyczyniają się do poprawy wiarygodności procedur detekcji i identyfikacji wyładowań niezupełnych.

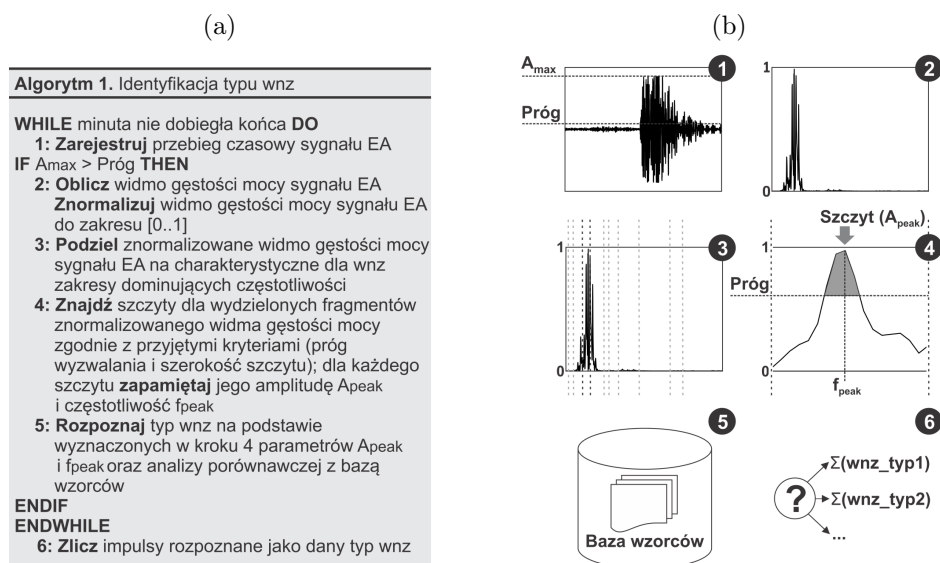
Funkcja automatycznej identyfikacji rodzaju wylądowań niezupełnych

1.1 Problematyka identyfikacji wylądowań niezupełnych

Funkcja automatycznej identyfikacji rodzaju wylądowań niezupełnych została dodana do warstwy oprogramowania systemu *PDtracker* z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze, pozwala ona odróżnić sygnały emisji akustycznej pochodzące od wylądowań niezupełnych od sygnałów zakłóceń (np. sygnałów EA powstających podczas operacji przełączania zaczepek, wysokoczęstotliwościowego szumu Barkhausena czy wylądowań atmosferycznych itp.). Po drugie i zarazem najważniejsze – funkcja ta pozwala wykryć i z dużym prawdopodobieństwem rozpoznać wylądowania wysokoenergetyczne, np. wnz międzywojowe czy wnz ślizgowe na przegrodach preszpanowych. Stanowi to ważną zaletę systemu monitoringu, gdyż tego typu wylądowania stanowią zwykle największe zagrożenie dla kondycji układu izolacyjnego transformatora, gdyż w stosunkowo krótkim czasie mogą doprowadzić do jego uszkodzenia.

1.2 Opis algorytmu

Algorytm funkcji został zoptymalizowany do działania w czasie rzeczywistym (ang. real-time computing), dzięki temu nie powoduje opóźnień w realizacji podstawowego zadania systemu, jakim jest detekcja impulsów wnz i ciągłe śledzenie ich podstawowych parametrów. Działanie algorytmu opiera się na analizie porównawczej parametrów częstotliwościowych rejestrowanych sygnałów EA z wbudowaną bazą parametrów wzorcowych wylądowań (tzw. „odcisku palca”) typowych dla układu izolacyjnego papier-olej [4, 5]. Schemat ideowy algorytmu i jego poszczególne kroki przedstawiono na rysunku 1.1.



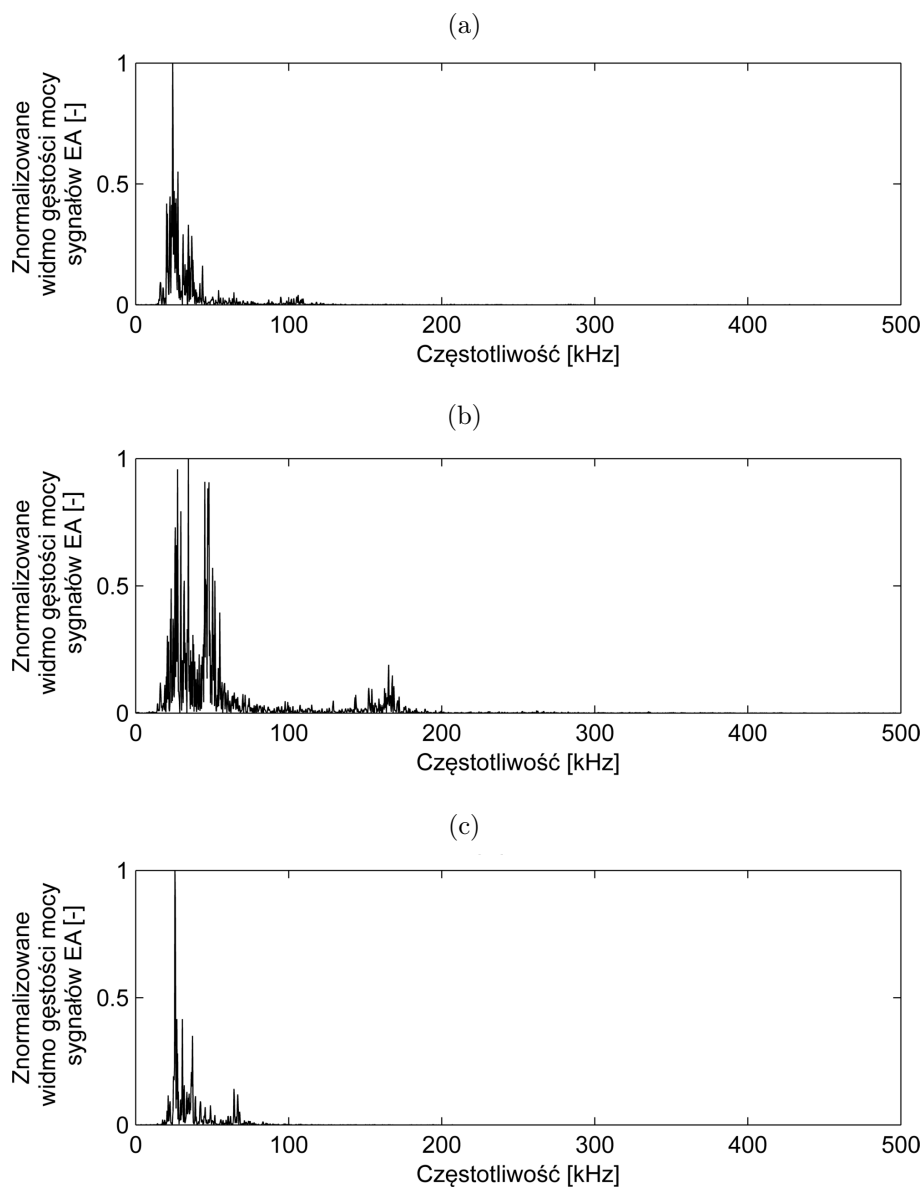
Rysunek 1.1: Algorytm funkcji automatycznej identyfikacji typu wnz: a) pseudokod, b) schemat ideowy

1.3 Identyfikacja sygnałów EA generowanych przez wyładowania niezupełne

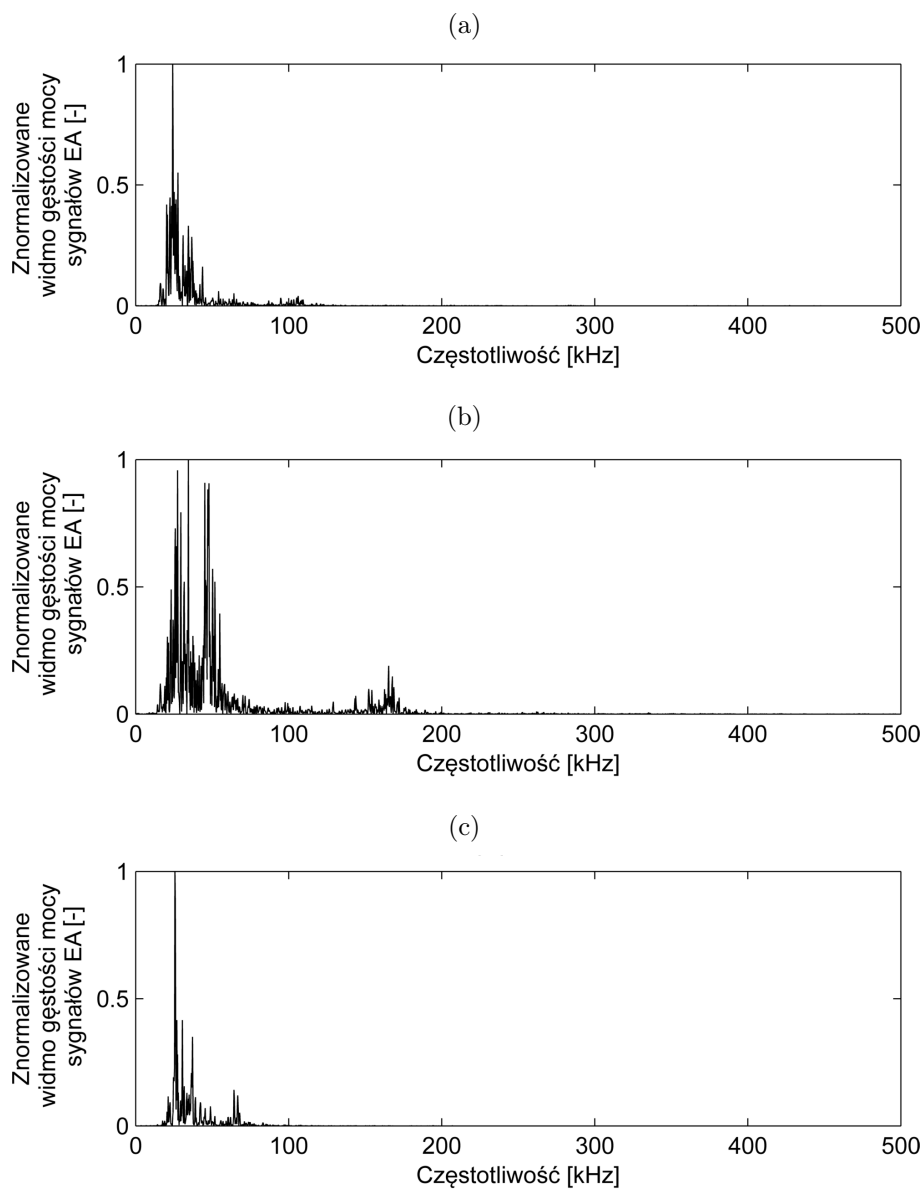
W przypadku metody emisji akustycznej wartości parametrów częstotliwościowych sygnałów wnz w równym stopniu zależą od rodzaju defektu, jak i od elementów składowych układu pomiarowego (tj. rodzaju zastosowanych przetworników piezoelektrycznych, wzmacniaczy i filtrów). Dlatego opracowanie bazy wzorców wnz wymagało w pierwszej kolejności zakończenia etapu budowy warstwy sprzętowej systemu, gdyż każda zmiana w konfiguracji powodowałaby konieczność powtórnego wykonania czasochłonnych, laboratoryjnych badań modelowych. Projektując system przewidziano możliwość zastosowania różnych, dostępnych na rynku przetworników emisji akustycznej. Obecna wersja systemu pozwala na automatyczną identyfikację rodzaju wyładowań niezupełnych dla następujących, najczęściej stosowanych w elektroenergetyce typów przetworników emisji akustycznej: WD, R15D i D9241A.

Na rysunku 1.2 zestawiono przykładowe, wzorcowe charakterystyki częstotliwościowe opracowane dla sygnałów EA generowanych przez wnz ślizgowe, które rejestrowano wymienionymi wyżej przetwornikami w trakcie modelowych badań laboratoryjnych.

Na rysunku 1.3 przedstawiono wynik automatycznej identyfikacji rodzajów wyładowań niezupełnych zarejestrowanych pierwszego dnia (4.7.2012) działania funkcji w systemie monitoringu *PDtracker* pracującym na badanym transformatorze 330 MVA. Analiza danych z tego dnia wykazała, że do inicjacji wyładowań doszło około godziny jedenastej. Większość spośród zarejestrowanych impulsów EA została sklasyfikowana przez system jako wnz ślizgowe o niskiej intensywności i ciągłym charakterze (niegasnące). Dodatkowo wykryto trzy niezbyt długie, bo około godzinne okresy zapłonu wnz powierzchniowych.



Rysunek 1.2: Przykładowe charakterystyki wzorcowe (znormalizowane widma gęstości mocy sygnałów EA) wnz ślizgowych uzyskane za pomocą przetwornika piezoelektrycznego typu WD (a), R15D (b) i D9241A (c)



Rysunek 1.3: Wynik automatycznej identyfikacji rodzajów wyładowań niepełnych zarejestrowanych pierwszego dnia (4.7.2012) działania funkcji w systemie monitoringu *PDtracker* pracującym na transformatorze 330 MVA; wyładowania niepełne: ślizgowe (a), powierzchniowe (b), "nieznane" (c)

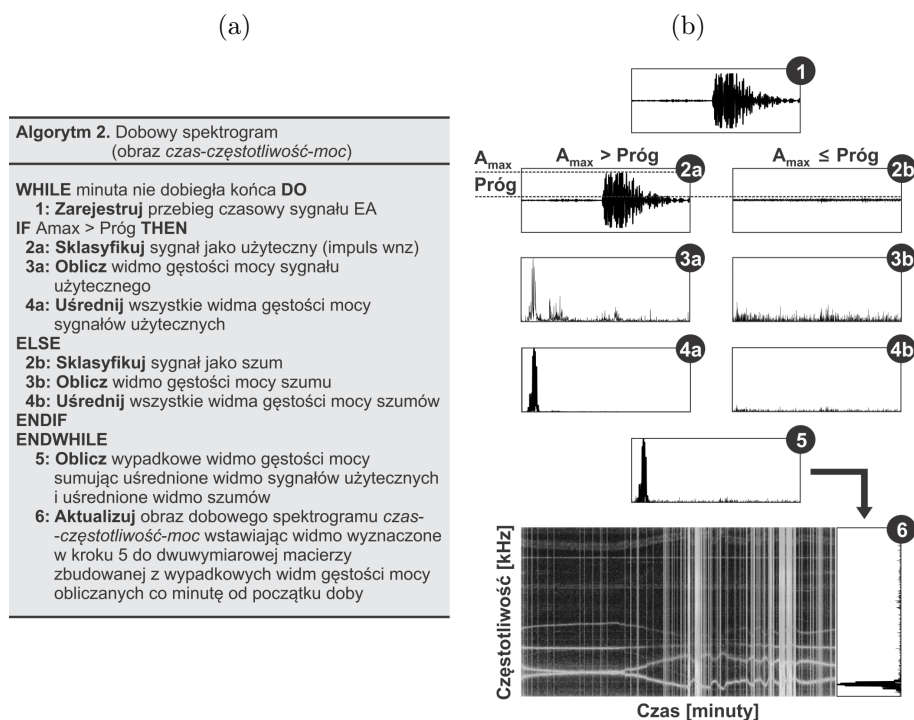
Funkcja długookresowej, łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej sygnałów EA

Wynikiem działania opisanej w poprzednim punkcie funkcji jest wyłącznie informacja o liczbie impulsów sklasyfikowanych jako dany rodzaj wnz oraz liczbie impulsów nieznanego pochodzenia (nierozpoznanych). Dlatego, aby umożliwić obsłudze systemu *PDtracker* wykonanie bardziej zaawansowanej analizy sygnałów (szczególnie w kontekście efektywnego rozpoznawania wyładowań i zakłóceń), dodatkowo opracowano i zaimplementowano algorytm długookresowej, łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej (rys. 2.1).

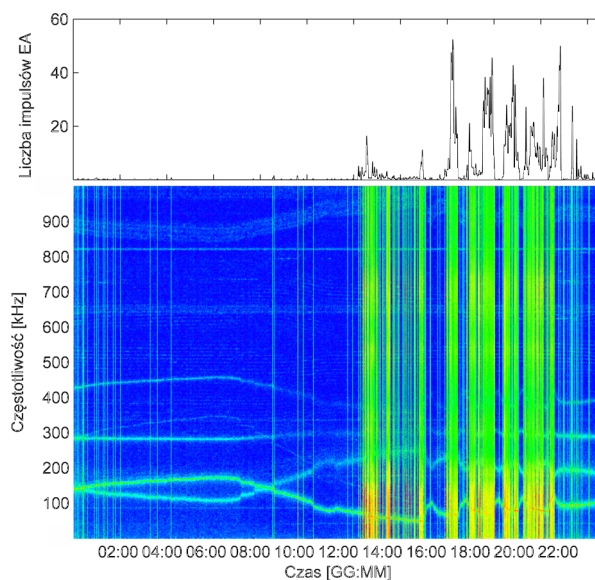
Efektom działania algorytmu jest wygenerowanie dobowego, pseudo-trójwymiarowego obrazu czas-częstotliwość-moc sygnału, na podstawie którego możliwa jest:

- obserwacja zmian parametrów częstotliwościowych sygnałów EA i HF,
- identyfikacja wyładowań niezupełnych (także wieloźródłowych różnych typów),
- identyfikacja chwilowych, krótkotrwałych zakłóceń szerokopasmowych (wyładowania atmosferyczne, operacje PPZ i inne operacje łączeniowe na stacji GPZ),
- identyfikacja zakłóceń wąskopasmowych (np. sygnałów EA generowanych przez zdefektowane, zacierające się łożyska wentylatora układu chłodzenia transformatora)

Na rysunku 2.2 przedstawiono przykładowy wynik dobowej, łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej sygnałów EA zarejestrowanych na monitorowanym transformatorze. W tym konkretnym, wybranym na potrzeby artykułu przykładzie, analiza spektrogramu potwierdziła, że większość spośród zarejestrowanych tego dnia sygnałów EA posiadała składowe harmoniczne o dominującej częstotliwości typowej dla wnz powierzchniowych (w tym również ślizgowych), tj. 30 kHz, 110 kHz i 160 kHz. Obraz czas-częstotliwość-moc pozwolił również zaobserwować liczne zakłócenia i szумы akustyczne. Część z nich miała wyraźnie wąskopasmowy charakter (np. pasmo 340-345 kHz i 815-820 kHz) i względnie stałą w czasie energię i częstotliwość dominującą. Z kolei inne zakłócenia charakteryzowały się zmienną w czasie częstotliwością (np. pasma 850-950 kHz, 350-450 kHz), a ich kształt pokrywa się częściowo z charakterystyką obciążenia lub napięcia. Niestety, z dotychczas zebranych doświadczeń i analiz trudno jest jednoznacznie określić przyczyny występowania w badanym transformatorze tak licznych i zróżnicowanych zakłóceń.



Rysunek 2.1: Algorytm funkcji długookresowej łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej: pseudokod (a), schemat ideowy (b)



Rysunek 2.2: Wynik długookresowej (dobowej) łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej z pierwszego dnia (16.7.2013) działania funkcji w systemie PDtracker pracującego na transformatorze 330 MVA

Moduł detekcji wyładowań niezupełnych w paśmie wysokich częstotliwości (HF)

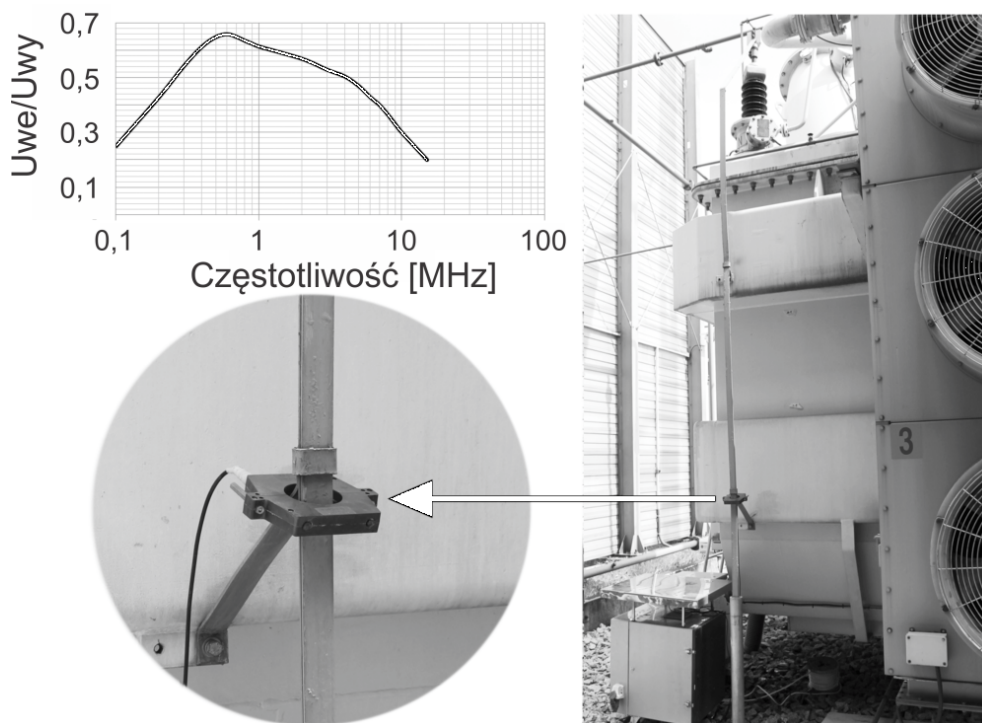
3.1 Niekonwencjonalne metody detekcji wnz

Konwencjonalna metoda elektryczna (zgodna z PN-EN 60270) jest jedyną metodą umożliwiającą pomiar wyładowań niezupełnych, która dodatkowo zapewnia wysoką czułość ich detekcji (nawet < 1 pC). Niestety ze względu na ograniczoną odporność na zakłócenia elektryczne (głównie ulot z linii przesyłowych), bezpośrednie sprzężenie z obwodem WN oraz konieczność wyłączenia transformatora na czas montażu nie jest ona przystosowana do monitoringu wnz. Pozostałe metody, klasyfikowane zgodnie z nomenklaturą CIGRE i IEEE jako niekonwencjonalne, służą detekcji lub lokalizacji wyładowań. W porównaniu do metody konwencjonalnej nie umożliwiają pomiaru ładunku pozornego wyładowań niezupełnych, zaś czułość ich detekcji jest mniejsza. Niewątpliwie jednak możliwość stosunkowo łatwego przystosowania metod niekonwencjonalnych do pracy w trybie monitoringu długookresowego sprawiła, że stanowią one dziś ważną alternatywę dla klasycznych technik pomiaru wnz.

Spośród dostępnych metod niekonwencjonalnych, najbardziej rozpowszechniła się metoda analizy gazów rozpuszczonych w oleju (DGA). Niestety, dotychczasowe doświadczenia krajowej elektroenergetyki z eksploatacji przystosowanych do pracy ciągłej systemów DGA wykazują, że ich wiarygodność i efektywność jest mocno ograniczona. Reprezentatywny przykład tego problemu stanowi także przypadek transformatora, na którym testowano system *PDtracker*. Jednostka ta została wyposażona w popularne na rynku urządzenie do monitorowania gazów rozpuszczonych w oleju, jednak co do poprawności jego działania są bardzo duże wątpliwości. Przez okres ostatnich dwóch lat wykazuje on stałą, przez co mało prawdopodobną, zawartość gazów (ok. 90-110 ppm) i jeszcze bardziej nierealną wartość zawilgocenia oleju wynoszącą 2 ppm (zawilgocenie nowego oleju, w zakresie typowych wartości temperatury pracy transformatora, wynosi ok. 10-12 ppm).

Pozostałe, alternatywne do metody DGA techniki detekcji wyładowań niezupełnych, to dopracowana i dobrze poznana metoda emisji akustycznej (EA) oraz stosunkowo nowe metody elektromagnetyczne (HF/VHF/UHF). Wszystkie wymienione metody mogą być przystosowane do pracy w trybie monitoringu ciągłego, zaś kilka firm oferuje już

kompletne systemy pomiarowe dedykowane specjalnie dla transformatorów energetycznych i rozdzielnic izolowanych gazem SF_6 .



Rysunek 3.1: Miejsce montażu przekładnika prądowego wysokiej częstotliwości oraz jego charakterystyka przenoszenia

Zainstalowany na transformatorze prototypowy system monitoringu wnz podczas rocznej eksploatacji zarejestrował kilka okresów o podwyższonym poziomie amplitudy i energii sygnałów emisji akustycznej. Niestety, z powodu niepoprawnej pracy urządzenia do DGA, nie była możliwa weryfikacja wyników uzyskanych przez system monitoringu i jednoznacznego potwierdzenia, że źródłem rejestrowanych impulsów emisji akustycznej było zjawisko wyładowań niezupełnych. Dlatego podjęto decyzję o rozpoczęciu prac badawczych mających na celu opracowanie i wykonanie modułu detekcji wnz w paśmie wysokich częstotliwości (HF). W zamierzeniu autorów, jego wdrożenie powinno poprawić wiarygodność detekcji wyładowań niezupełnych metodą EA. W warstwie oprogramowania procedurę detekcji wnz rozszerzono o funkcję określającą zależności korelacyjne pomiędzy parametrami sygnałów akustycznych i elektrycznych. Na chwilę obecną, urządzenia do DGA zainstalowane na krajowych transformatorach, takiej możliwości nie są w stanie zagwarantować.

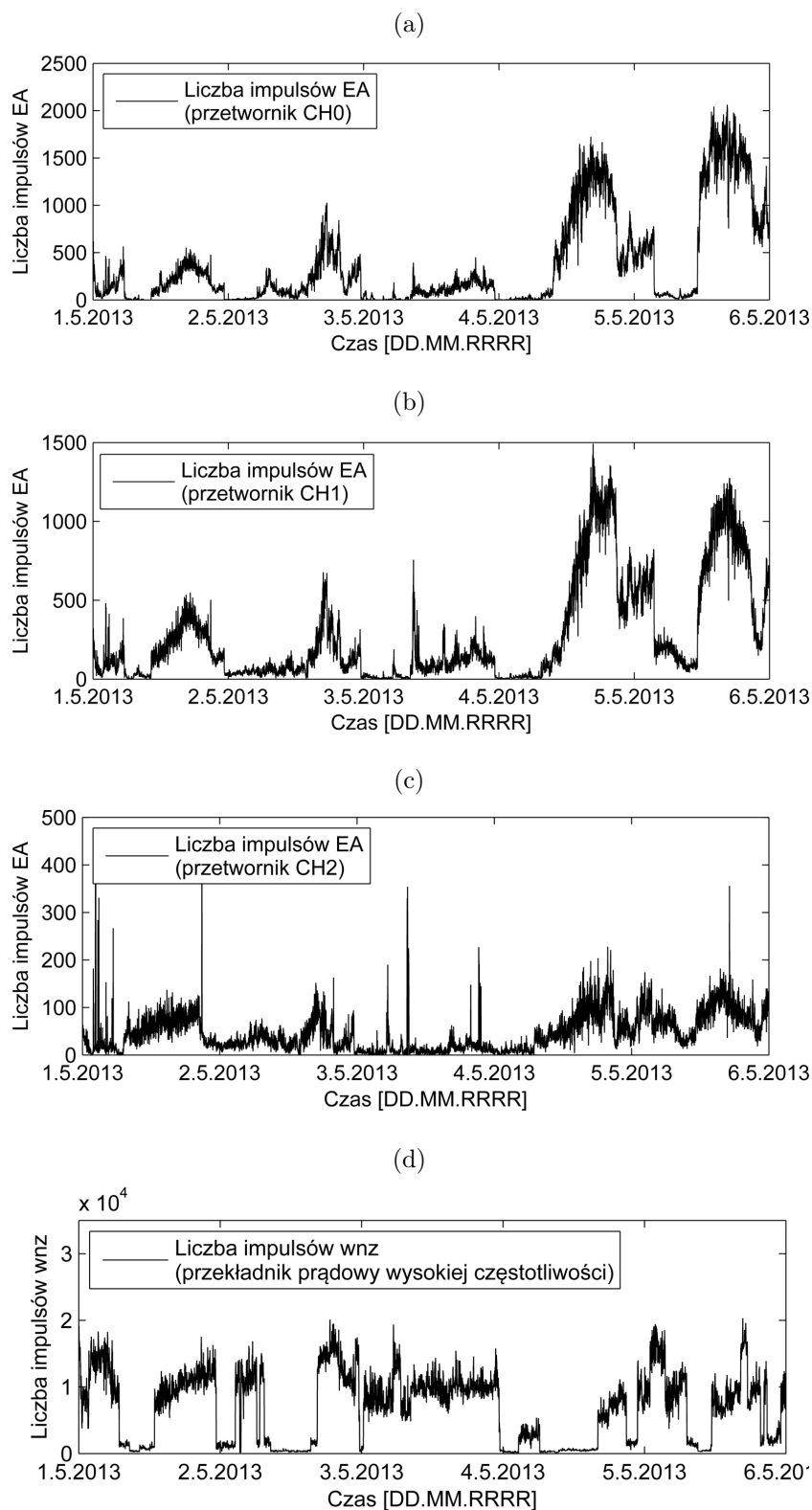
3.2 Budowa modułu HF

Analizując wyłącznie aspekt czułości detekcji wnz, bardziej optymalnym rozwiązaniem byłaby rozbudowa systemu *PDtracker* nie o moduł HF, lecz UHF. Sondy UHF zwykle

montuje się w zaworach spustowych oleju lub w specjalnie do tego celu przystosowanych oknach rewizyjnych. Niestety pierwsza technika montażu nie gwarantuje wysokiej czułości detekcji wnz (zbyt duża odległość od części aktywnej transformatora), zaś druga wymaga kilkudniowego wyłączenia jednostki oraz spuszczenia dużej objętości oleju. W tym aspekcie metoda HF wykazuje niewątpliwą przewagę nad metodą UHF, gdyż sonda pomiarowa (przekładnik prądowy wysokiej częstotliwości) instalowana jest na przewodzie uziemiającym punkt neutralny bez konieczności wyłączenia transformatora. Dodatkową zaletą, oprócz łatwości montażu, jest względnie wysoka czułość detekcji wnz. Dlatego też, już na etapie projektowania systemu monitoringu, autorzy przewidzieli możliwość zainstalowania przekładników prądowych wysokiej częstotliwości (HFCT – ang. High Frequency Current Transformer). Dzięki temu sygnał napięciowy z przekładnika może być rejestrowany przez moduł akwizycji sygnałów EA. Wymaga to jednak zastosowania dodatkowej funkcji cyfrowej filtracji sygnałów (w celu odseparowania sygnałów EA i HF) oraz zwiększenia częstotliwości próbkowania do 20 MS/s. Dlatego lepszym rozwiązaniem, z uwagi na konieczność zapewnienia wysokiej wydajności i efektywności działania systemu, jest jego doposażenie w dodatkowy, dedykowany moduł akwizycji sygnałów HF.

W połowie marca 2013 roku, bezpośrednio po zakończeniu testów laboratoryjnych, system *PDtracker* rozbudowano o przekładnik prądowy wysokiej częstotliwości zyskując tym samym możliwość detekcji wnz równocześnie metodą akustyczną i elektromagnetyczną. Wybrano przekładnik z dzielonym rdzeniem, co nie tylko ułatwia jego montaż na szynoprzewodzie, ale również zapobiega nasyceniu (producent zaleca, aby szczelina w rdzeniu miała grubość ok. 1 mm i była wypełniona materiałem dielektrycznym). Czujnik zainstalowano na przewodzie uziemiającym punkt gwiazdowy uzwojenia górnego napięcia transformatora (rys. 3.1). Impulsy wyładowań niezupełnych rejestrowane są w paśmie do 10 MHz.

Na rysunku 3.2 zestawiono parametry impulsów wnz zarejestrowanych równoległe metodą emisji akustycznej (kanały CH00-CH02) i metodą wysokich częstotliwości (kanał CH03) w okresie od 1 do 6 maja 2013r. Pomimo tego, że czujnik HFCT rejestruje impulsy wyładowań niezupełnych równocześnie ze wszystkich faz, to możliwe jest określenie zależności korelacyjnych pomiędzy parametrami elektrycznymi i akustycznymi.



Rysunek 3.2: Liczba impulsów wnz zarejestrowana przez system monitoringu w okresie od 1 do 6 maja 2013 roku przez przetworniki emisji akustycznej (a-c) oraz przekładnik prądowy wysokiej częstotliwości (d)

Moduł bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia

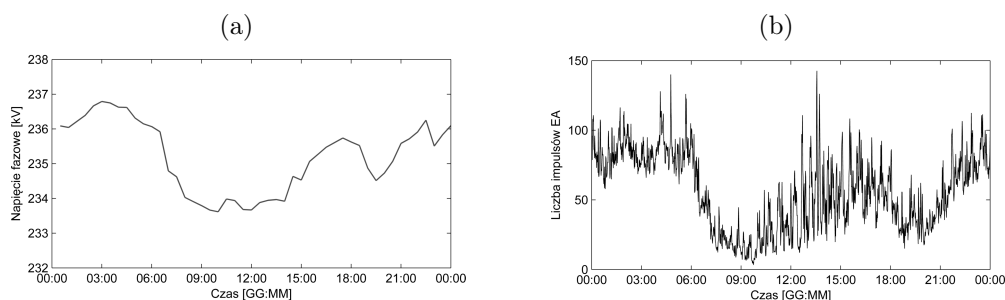
4.1 Analiza korelacyjna parametrów EA i podstawowych parametrów pracy transformatora

Istotnym parametrem, który znacząco wpływa na aktywność wyładowań niezupełnych jest pozycja przełącznika zaczepów, która przekłada się wprost na wartość napięcia na wyjściu transformatora. Potwierdzeniem tej zależności są przykładowe rejestracje wartości skutecznej napięcia i liczby impulsów przedstawione na rysunku 4.1. Dostępność tego typu informacji w systemie monitoringu wnz pozwoliłaby na korelowanie tego istotnego parametru z aktywnością wnz i mogłaby być wykorzystana w ocenie stanu izolacji transformatora np. odpowiadać na pytanie, czy wzrost liczby impulsów jest proporcjonalny do wzrostu napięcia, a więc jest efektem poniekąd naturalnym, czy też jest następstwem wzrostu dynamiki rozwoju zjawisk degradacyjnych zachodzących w izolacji, a zatem sygnalizuje potencjalne zagrożenie dla pracy urządzenia. Rejestracja krzywej napięcia mogłaby być również podstawą do tworzenia rozkładów częstościowo-fazowych lub częstościowo-amplitudowych sygnału akustycznego, co dawałoby dodatkowe możliwości w zakresie identyfikacji defektów układu izolacyjnego, a więc poprawiało wiarygodność tego procesu.

Niestety, pomimo współpracy urządzenia *PDtracker* z systemem nadrzędnym monitoringu transformatora, informacja na temat wartości napięcia oraz jego przebiegu w czasie, pozyskiwana z przekładników napięciowych zainstalowanych w polu transformatora, nie jest dla niego dostępna. W związku z powyższym, aby wspomniane wyżej funkcje mogły zostać zrealizowane twórcy systemu monitoringu wnz zdecydowali się na wprowadzenie własnego rozwiązania.

4.2 Budowa modułu do bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia

Zaproponowany układ pomiarowy pracuje w oparciu o wykorzystanie sondy pojemnościowej o specjalnej konstrukcji. Podstawowe założenia metody wykorzystującej tego typu



Rysunek 4.1: Uśredniony (na podstawie danych z marca 2013 r.), dobowy rozkład wartości napięcia fazowego monitorowanego transformatora 330 MVA (a) oraz liczby zarejestrowanych impulsów EA (b)

czujnik w pomiarze wysokiego napięcia przemiennego zostały przedstawione w artykule [6].

Sonda (rys. 4.2) posiada konstrukcję umożliwiającą zainstalowanie jej bezpośrednio na kadzi transformatora (mocowania wyposażone w magnesy trwałe) oraz odpowiednią czułość i szczelność, co pozwala zachować stabilne parametry niezależnie od poziomu wilgotności powietrza. Czujnik został jak dotąd bardzo dokładnie przetestowany w warunkach laboratoryjnych oraz poddany krótkotrwałym testom polowym. Obecnie moduł ten został odpowiednio oprogramowany i przygotowany do długotrwałych testów na transformatorze energetycznym, co w niedalekiej przyszłości zostanie zrealizowane.



Rysunek 4.2: Sonda do bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia stosowana w systemie monitoringu *PDtracker*

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wybrane, nowe funkcje sprzętowe i programowe pierwszego w kraju systemu monitoringu wyładowań niezupełnych, który opracowano w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej. Poprzednia, prototypowa wersja systemu *PDtracker* pełniła rolę prostego rejestratora wyładowań niezupełnych opartego na metodzie emisji akustycznej. Obecnie, dzięki rozbudowie systemu o moduł detekcji wnz w paśmie wysokich częstotliwości, moduł bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia oraz funkcję automatycznej identyfikacji defektów, wyraźnie poprawiono wiarygodność procedury detekcji wyładowań niezupełnych.

Bibliografia

- [1] SIKORSKI W., WALCZAK K., ANDRZEJEWSKI M., GIL W.: Doświadczenia z rocznej eksploatacji systemu monitoringu wyładowań niezupełnych w transformatorze sieciowym dużej mocy, *Międzynarodowa Konferencja Transformator'2013*, 34(5), Gdańsk, 5-7 czerwca 2013.
- [2] SIKORSKI W., WALCZAK K., MORAÑDA H., GIL W., ANDRZEJEWSKI M.: System monitoringu wyładowań niezupełnych metodą emisji akustycznej – doświadczenia eksploatacyjne, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11b, 2012.
- [3] SIKORSKI W., ZIOMEK W., SIODŁA K., MORAÑDA H.: Location of partial discharge sources in power transformers based on advanced auscultatory technique, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19 (6), pp. 1948-1956, Dec. 2012.
- [4] SIKORSKI W. (pod red.): Acoustic Emission, *Intech Publishing*, ISBN 978-9-5333510-056-0, Croatia 2012.
- [5] SIKORSKI W. (pod red.): Acoustic Emission – Research and Applications, *Intech Publishing*, ISBN 978-953-51-1015-6, Croatia 2013.
- [6] WALCZAK K.: Zdalny pomiar napięcia na stanowisku probierczym w laboratorium wysokich napięć, *Przegląd Elektrotechniczny*, 84 (2008), nr 10, 24-27, 2008.

Spis rysunków

1.1	Algorytm funkcji automatycznej identyfikacji typu wnz: a) pseudokod, b) schemat ideowy	4
1.2	Przykładowe charakterystyki wzorcowe (znormalizowane widma gęstości mocy sygnałów EA) wnz ślizgowych uzyskane za pomocą przetwornika piezoelektrycznego typu WD (a), R15D (b) i D9241A (c)	5
1.3	Wynik automatycznej identyfikacji rodzajów wyładowań niepełnych zarejestrowanych pierwszego dnia (4.7.2012) działania funkcji w systemie monitoringu <i>PDtracker</i> pracującym na transformatorze 330 MVA; wyładowania niepełne: ślizgowe (a), powierzchniowe (b), "nieznane" (c)	6
2.1	Algorytm funkcji długookresowej łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej: pseudokod (a), schemat ideowy (b)	8
2.2	Wynik długookresowej (dobowej) łącznej analizy czasowo-częstotliwościowej z pierwszego dnia (16.7.2013) działania funkcji w systemie <i>PDtracker</i> pracującego na transformatorze 330 MVA	8
3.1	Miejsce montażu przekładnika prądowego wysokiej częstotliwości oraz jego charakterystyka przenoszenia	10
3.2	Liczba impulsów wnz zarejestrowana przez system monitoringu w okresie od 1 do 6 maja 2013 roku przez przetworniki emisji akustycznej (a-c) oraz przekładnik prądowy wysokiej częstotliwości (d)	12
4.1	Uśredniony (na podstawie danych z marca 2013 r.), dobowy rozkład wartości napięcia fazowego monitorowanego transformatora 330 MVA (a) oraz liczby zarejestrowanych impulsów EA (b)	14
4.2	Sonda do bezkontaktowego pomiaru wysokiego napięcia stosowana w systemie monitoringu <i>PDtracker</i>	14
B.1	Przykładowy wykres stworzony przy użyciu pakietu <code>pgfplots</code> na podstawie danych zawartych w oddzielnych plikach tekstowych	19
B.2	Wykresy utworzony w programie <code>MATLAB</code> i zapisany w formacie wektorowym PDF	20
B.3	Wykresy uzyskane przy użyciu programu <code>gnuplot</code>	21

Tabele

Do tworzenie estetycznych, profesjonalnie wyglądających tabel (mi.in. pozbawionych pionowych linii) zaleca się korzystanie z pakietu `booktabs`. Poniżej przedstawiono tabelę A.1 wykonaną przy jego użyciu. Szczegółową dokumentację techniczną pakietu `booktabs` można znaleźć między innymi na stronach Comprehensive T_EX Archive Network - CTAN.

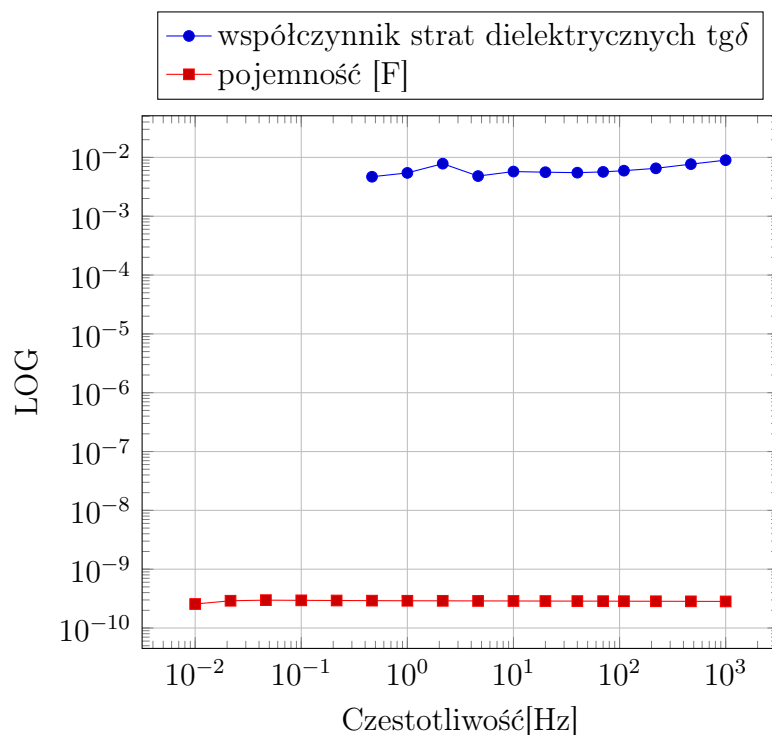
Student	Grupa	Ocena
A. Kowalska	E1	5.0
B. Jackowiak	E1	4.5
A. Bilaska	E2	5.0
L. Ryłko	E2	4.0
W. Szczurek	E3	3.5
H. Komorowski	E3	2.0

Tabela A.1: Przykładowa tabela wykonana przy użyciu pakietu `booktabs`

DODATEK B

Wykresy

Do tworzenia profesjonalnie wyglądających wykresów można skorzystać z pakietu `pgfplots`. Jego dokumentację, bogatą w liczne przykłady, można pobrać ze stron CTAN. Dane, na podstawie których ma powstać wykres można bezpośrednio umieścić w kodzie \LaTeX -a lub wskazać w kodzie ścieżkę do pojedynczego lub wielu plików z rozszerzeniem `dat`, w których znajdują się wartości danych pomiarowych. Rysunek B.1 przedstawia dwie charakterystyki, których wartości zostały pobrane z plików `capacity.dat` i `tangens.dat` umieszczonych w katalogu `dane`.

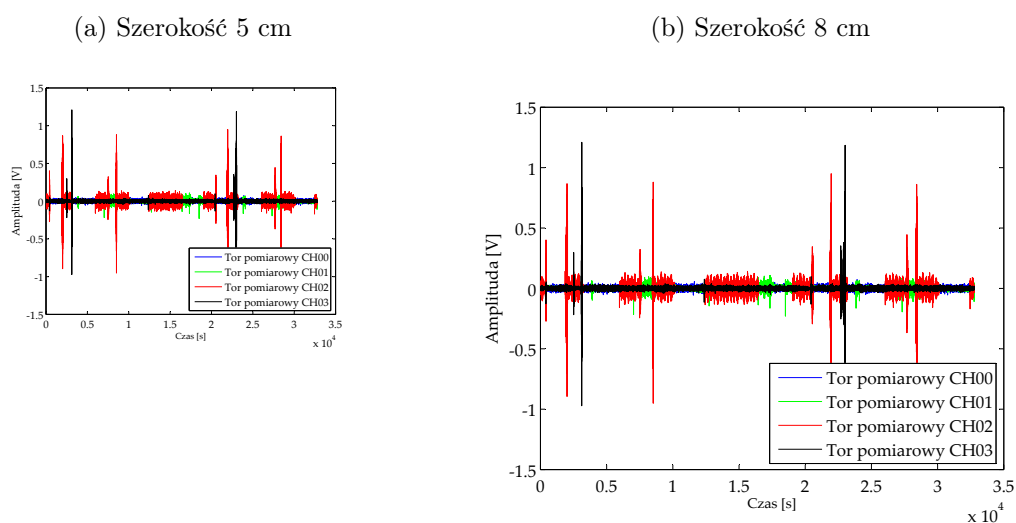


Rysunek B.1: Przykładowy wykres stworzony przy użyciu pakietu `pgfplots` na podstawie danych zawartych w oddzielnych plikach tekstowych

Innym popularnym sposobem opracowywania wysokiej jakości wykresów wymaga

dostępu do programu MATLAB. Po wygenerowaniu w MATLAB-ie wykresu najlepiej zapisać go w formacie wektorowym PDF (**Save As→PDF**) lub wydrukować do pliku (**Print Preview→Paper Width/Height→Print**). Chcąc korzystać z tej drugiej opcji niezbędne będzie zainstalowanie dodatkowego programu, który to umożliwi (Foxit Reader, PDF995, Adobe Acrobat itp.). Dzięki temu uzyskujemy doskonałej jakości wykresy, których rozmiar możemy dowolnie dostosowywać nie tracąc przy tym na jakości (efekt skalowania przedstawiają rysunki B.2a i B.2b).

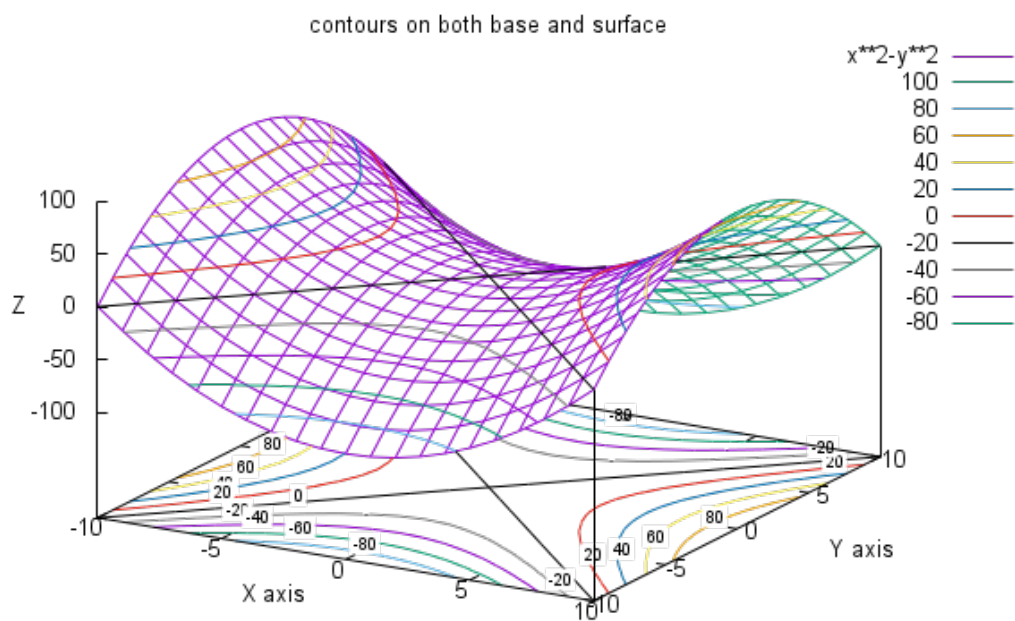
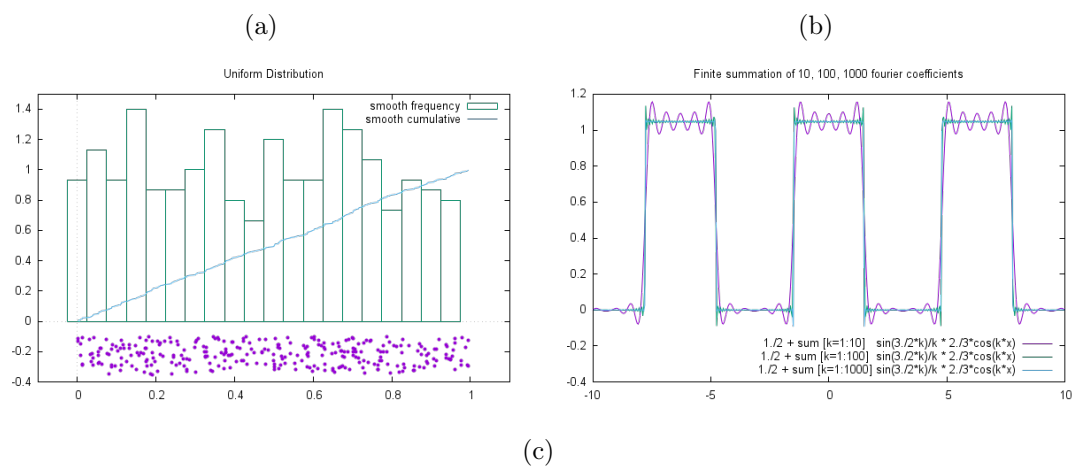
Tak utworzony plik graficzny z wykresem umieszczamy w pracy stosując standardową instrukcję `\includegraphics`.



Rysunek B.2: Wykresy utworzony w programie MATLAB i zapisany w formacie wektorowym PDF

Profesjonalnie prezentujące się wykresy możemy również wygenerować przy użyciu bardzo popularnego wśród studentów, inżynierów i naukowców na całym świecie, darmowego programu **gnuplot**, który można pobrać ze strony producenta <http://www.gnuplot.info>. Możliwości w kreowaniu wykresów w tym programie są praktycznie nieograniczone (patrz rys. B.3a, B.3b i B.3c).

Dobłą alternatywą dla wyżej wymienionych programów może być: **Mathcad** (Zakład Wysokich Napięć i Materiałów Elektrotechnicznych jest w posiadaniu jego licencji), **Octave** (darmowy odpowiednik **MATLAB-a**) i **Statistica** (jest dostępny na niektórych wydziałach PP).



Rysunek B.3: Wykresy uzyskane przy użyciu programu gnuplot

Źródła wiedzy o LaTeXu

C.1 Po co mi LaTeX skoro mam Worda?

LaTeX to system komputerowego składu drukarskiego i łamania tekstów, w którym można (nieposiadając fachowej wiedzy) opracować profesjonalnie wyglądający, skomplikowany, wielostronicowy dokument (np. pracę dyplomową, skrypt, książkę).

To fakt, w większości jesteśmy przyzwyczajeni do tworzenia dokumentów w programach typu WYSIWYG - *What You See Is What You Get* (np. Microsoft Office, OpenOffice, LibreOffice), dlatego pierwszy kontakt z LaTeXem może nieco rozczarować, a nawet zniechęcić. Filozofia pracy z programem jest bowiem całkowicie odmienna od tej, do której zdążyliśmy się już przyzwyczaić. Zasadnicza różnica jest taka, że mamy do czynienia z programem typu WYSIWYM - *What You See Is What You Mean*, co oznacza, że naszym głównym zadaniem jest skoncentrowanie się na pisaniu treści dokumentu (a nie na formatowaniu!) i określeniu jego struktury logicznej (tzn. wskazujemy, gdzie zaczyna się dany rozdział/podrozdział; gdzie ma być tabela, rysunek, wykres itd.). Natomiast o stworzenie eleganckiego dokumentu o najwyższym standardzie typograficznym zadba już sam LaTeX. Dzięki temu możemy zapomnieć o ciągłym kontrolowaniu odstępów, akapitów, stylów, wielkości czcionek, marginesów – czyli tego wszystkiego co związane jest z tzw. *formatowaniem wizualnym*. Od teraz przestaną nas trapić problemy typowe dla popularnych edytorów tekstów, które w starciu z dużym i skomplikowanym dokumentem, zwykle stają się niestabilne i nieprzewidywalne. To dlatego, że zostały stworzone do sprawnego i wygodnego edytowania krótkich, nieskomplikowanych dokumentów biurowych (już sama nazwa *Office* wskazuje ich środowisko naturalne), nie zaś rozbudowanych, wielostronicowych prac naukowych (dyplomowych, rozpraw doktorskich/habilitacyjnych, raportów z badań etc.) z rozbudowaną bibliografią, z wieloma wykresami, tablicami i wzorami matematycznymi. Naprawdę warto poświęcić trochę czasu na poznanie podstaw LaTeX-a, by w miarę bezstresowo i wygodnie tworzyć piękne, estetyczne, profesjonalnie wyglądające prace drukowane.

Aby jak najszybciej przekonać się do nauki LaTeX-a, proponuję najpierw rzucić okiem na artykuł o wymownym tytule [The Beauty of LaTeX](#) oraz na artykuł [LaTeX vs Word](#), w którym przedyskutowano wady i zalety obu środowisk.

C.2 Instalacja L^AT_EX-a

Wszystkie informacje potrzebne do rozpoczęcia przygody z L^AT_EX-em można znaleźć klikając na jeden z poniższych linków:

- [Jak zacząć?](#)
- [Instalacja LaTeX'a pod Windows](#)
- [Instalacja MikTeX dla systemów MS Windows](#)

C.3 Polecane strony internetowe poświęcone w całości L^AT_EX-owi

- [Nie za krótkie wprowadzenie do L^AT_EX-a \[książka\]](#)
- [Kurs L^AT_EX-a dla każdego \[kurs\]](#)
- [Wprowadzenie do systemu L^AT_EX\[skrypt\]](#)
- [L^AT_EX –profesjonalny skład dokumentów \[wykłady\]](#)
- [Krótka ściągą](#)
- [Tabela najważniejszych komend](#)
- [Serwis GUST — krajowej Grupy Użytkowników Systemu T_EX](#)
- [Wikibooks \[L^AT_EX-owa Wikipedia\]](#)

C.4 Polecane książki w języku polskim o L^AT_EX-ie dla piszących pracę dyplomową

- PRZECHLEWSKI T.: Praca magisterska i dyplomowa z programem L^AT_EX
- ZIEMKIEWICZ B., KARŁOWSKA-PIK J.: L^AT_EX-a dla matematyków