



Paweł A. Mazurek

Laboratorium instalacji energii odnawialnych Część 1

PODRECZNIKI

Laboratorium instalacji energii odnawialnych

Część 1

Podręczniki – Politechnika Lubelska



Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Paweł A. Mazurek

Laboratorium instalacji energii odnawialnych

Część 1



Politechnika Lubelska
Lublin 2013

Recenzenci:

dr hab. inż. Paweł Surdacki, prof. Politechniki Lubelskiej

dr inż. Jarosław Diatczyk

Podręcznik przeznaczony dla studentów Studiów Podyplomowych Technologię Energii Odnawialnych realizowanych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej



Publikacja dystrybuowana bezpłatnie.

Publikacja opracowana i finansowana z projektu „Politechnika przyszłości – dostosowanie oferty do potrzeb rynku pracy i GOW”

Projekt „Politechnika przyszłości – dostosowanie oferty do potrzeb rynku pracy i GOW” współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki.

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2013

ISBN: 978-83-7947-002-0

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk:

TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 100 egz.

SPIS TREŚCI

Przedmowa	7
Ćwiczenie 1	
Identyfikacja sygnału elektrycznego, praca układów prostownikowych	9
Ćwiczenie 2	
Badanie jakości energii w instalacjach z OZE	22
Ćwiczenie 3	
Analiza pracy przetwornic DC/AC w instalacjach z OZE	44
Ćwiczenie 4	
Badanie zaburzeń przewodzonych w zakresie częstotliwości 0,15-30 MHz	55
Ćwiczenie 5	
Badanie emisji elektromagnetycznej w zakresie niskich częstotliwości.....	65
Ćwiczenie 6	
Badanie emisji elektromagnetycznej instalacji generatora wiatrakowego w zakresie wysokich częstotliwości	79
Ćwiczenie 7	
Badanie hałasu	87
Bibliografia	105

Przedmowa

Niniejsze opracowanie jest zbiorem tematycznie dostosowanych instrukcji laboratoryjnych z zakresu identyfikacji sygnałów elektrycznych, pól elektromagnetycznych i akustycznych, jakości energii elektrycznej i kompatybilności elektromagnetycznej. Zamiarem autora było zebranie i przedstawienie wymienionych zagadnień szczególnie w odniesieniu do urządzeń i instalacji wykorzystujących energie odnawialne.

Skrypt powstał jako materiał do zajęć laboratoryjnych realizowanych na studiach podyplomowych „Technologie Energii Odnawialnych” prowadzonych w Instytucie Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Lubelskiej. Ze względu na częściowo otwarty charakter studiów, zamieszczone materiały są prezentowane językiem popularno-naukowym, który umożliwi łatwiejsze przyswojenie wiedzy. Nie zwalnia to jednak czytelników i studentów studiów podyplomowych z zachowania szczególnej ostrożności przy wykonywaniu prac pomiarowych.

Skrypt zawiera siedem ćwiczeń, które są dostosowane treścią do opracowanego i zatwierdzonego przez kolegia uczelniane programu studiów i umożliwia osiągnięcie przez słuchaczy zakładanych efektów kształcenia. Skrypt nie obejmuje jednak całego obszaru badań z zakresu technologii OZE. Wybranie materiału do niniejszej publikacji zostało podyktowane zapleczem technicznym oraz programem studiów.

Każdy rozdział skryptu to autonomiczna instrukcja ćwiczenia laboratoryjnego złożona z dwóch części. Pierwsza, zawiera syntetyczne przedstawienie podstawowych zjawisk i teoretycznych pojęć związanych z danym ćwiczeniem. Druga część zawiera plan i opis realizacji ćwiczenia w postaci kolejno po sobie wykonywanych testów i analiz. Materiały zawierają opisy podstawowych metod, odniesienia do obowiązującego prawodawstwa, parametry aparatury oraz wskazówki pomocne w wykorzystaniu programów zarządzających pomiarami i danymi pomiarowymi. Na ostatnich stronach zamieszczono spis bibliograficzny publikacji, które zarówno przyczyniły się do stworzenia skryptu jak i są materiałem rozszerzającym wiedzę z zakresu harmonijnej pracy instalacji OZE.

Zachęcam uczestników studiów podyplomowych do dokładnego zapoznania się z materiałami, które pozwolą sprawnie i bezpiecznie przejść przez zajęcia laboratoryjne, a wnikliwych Czytelników zapraszam do poszerzenia swej wiedzy w literaturze zamieszczonej na końcu skryptu.

Autor

Ćwiczenie 1

Identyfikacja sygnału elektrycznego, praca układów prostownikowych

1.1. Sygnał elektryczny

Sygnał to nośnik wiadomości (informacji) umożliwiający jej przesyłanie na odległość lub rejestrację w czasie. Może mieć postać umownego znaku (np. rysunek, litera, liczba) lub przebiegu wielkości fizycznej, którego co najmniej jeden parametr (np. kształt, częstotliwość, amplituda) zależy od przesyłanej nim wiadomości.

Najogólniej sygnały dzieli się na zdeterminowane i niezdeterminowane (przypadkowe, stochastyczne). Dla sygnału zdeterminowanego można powiedzieć ze 100% pewnością jaka jest jego wartość w każdej chwili czasu. Sygnału niezdeterminowanego nie można jednoznacznie opisać za pomocą funkcji matematycznych. Używając metod statystycznych można tylko powiedzieć jakie jest prawdopodobieństwo, że sygnał przyjmie wartość w zadanym przedziale wartości.

Istnieją różne klasyfikacje sygnałów w zależności od przyjętych kryteriów. Jedną z nich jest podział na sygnały ciągłe w czasie i na sygnały dyskretne.

Sygnałem ciągłym w czasie $f(t)$ nazywana jest funkcja, której dziedziną jest każdy punkt pewnego przedziału osi czasu. Sygnał ciągły w czasie nazywany jest też sygnałem analogowym.

Sygnałem dyskretnym w czasie $f(n)$ nazywana jest funkcja, której dziedziną jest zbiór liczb całkowitych ($n = 1, 2, 3, \dots$). W szczególnym przypadku sygnał dyskretny może przyjmować wartości 0 lub 1. Sygnał taki nazywano sygnałem cyfrowym.

Sygnał jednokierunkowy to sygnał, którego zwrot nie zmienia się w funkcji czasu.

Natomiast sygnałem zmiennym definiuje się taki sygnał, dla którego w funkcji czasu ulega zmianie jego wartość liczbowa przy niezmiennym zwrocie, zmienia się zwrot przy niezmiennym wartości liczbowej lub ulega zmianie zarówno zwrot, jak i wartość liczbowa. Sygnały zmiennie w czasie dzieli się na okresowe i nieokresowe.

Sygnał nazywany jest okresowym lub periodycznym, jeżeli powtarza się on w równych odstępach czasu. Najmniejszy przedział czasu, po którym sygnał okresowy powtarza się, nazywany jest okresem i oznaczany literą T . Odwrotność okresu $f=1/T$ to częstotliwość, a jej jednostką jest herc (1 Hz). Warunek okresowości sygnału można wyrazić zależnością:

$$f(t + T) = f(t)$$

Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to sygnał jest nieokresowy lub aperiodyczny. W elektrotechnice ważną rolę odgrywa sygnał nieokresowy o charakterze wykładniczym, tzw. sygnał wykładniczy.

Sygnały harmoniczne – to takie, które w dziedzinie czasu można opisać funkcją harmoniczną:

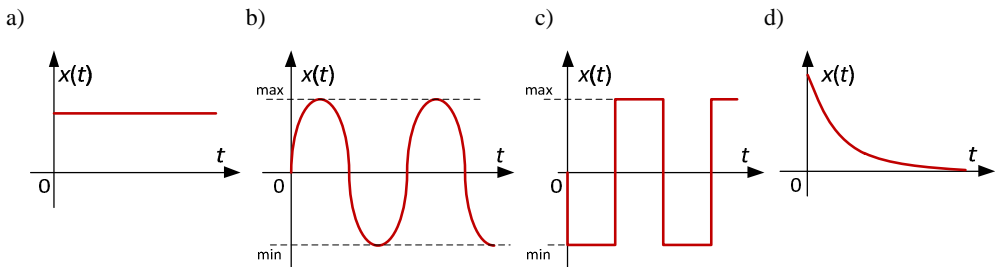
$$x(t) = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi)$$

gdzie: A – amplituda sygnału,

f_0 – częstotliwość,

φ – przesunięcie fazowe,

t – rozpatrywana chwila czasu.



Rys. 1.1. Przykłady różnych rodzajów sygnałów: a) sygnał stały $x(t) = X = \text{const}$,
 b) sygnał sinusoidalny $x(t) = X_m \cos(\omega t + \varphi)$, c) sygnał okresowy zmienny $x(t) = x(t + T)$,
 d) sygnał nie okresowy, wykładniczo malejący $x(t) = X e^{-at}$

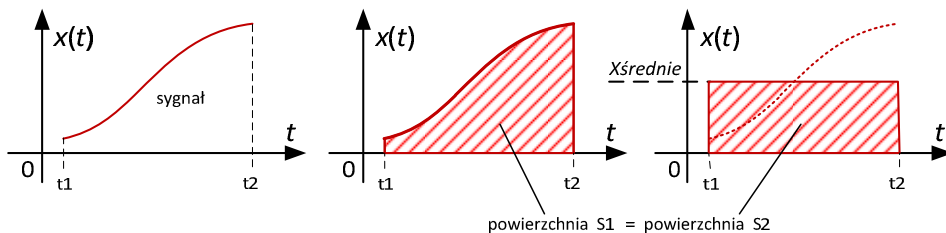
W elektrotechnice definiowanych jest kilka wielkości charakteryzujących sygnały okresowe. Wartością chwilową nazywana jest wartość, jaką sygnał przyjmuje w danej chwili. Wartość chwilową oznacza się małą literą, np. u , $u(t)$, $i(t)$. W praktyce inżynierskiej urządzeniem, które pozwala odczytać taką wartość jest oscyloskop.

Wartością szczytową sygnału definiowana jest największa wartość chwilową, jaką sygnał osiąga w rozpatrywanym przedziale czasu. Wartość szczytową oznaczamy dużą literą ze wskaźnikiem m lub \max , np. U_m , U_{\max} , I_{\max} .

Wartością średnią F_{sr} sygnału w przedziale (t_1, t_2) określa jest wartość całki oznaczonej w granicach t_2 i t_1 podzielona przez długość przedziału całkowania:

$$F_{sr} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} f(t) \cdot dt$$

Omawiana wartość średnia sygnału, odpowiada wartości średniej sumy pola powierzchni S_1 i S_2 sygnału. Wartość ta jest też rozłożona równomiernie na odcinku równym odciętym t_1 i t_2 .



Rys. 1.2. Interpretacja graficzna wartości średniej

Wartością średnią półokresową sygnału okresowego o okresie T definiowana jest średnia arytmetyczna tego sygnału obliczona dla połowy okresu

$$F_{sr} = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1 + T/2} f(t) \cdot dt$$

Wartością skuteczną F_{sk} sygnału okresowego $f(t)$ o okresie T jest pierwiastek kwadratowy z wartości całki oznaczonej z kwadratu funkcji w granicach od 0 do T podzielonej przez długość przedziału całkowania (okres, T).

$$F_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) \cdot dt}$$

Dla wartości skutecznej sygnału istnieje interpretacja energetyczna. Wartością skuteczną prądu okresowego nazywana jest taka wartość prądu stałego, który przepływając przez niezmienną rezystancję R w czasie okresu T , spowoduje wydzielenie na tej rezystancji takiej samej ilości ciepła, co prąd okresowo zmienny w tym samym czasie.

Definiując w obwodzie z rezystancją R moc i energię w prądzie stałym jako:

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

$$E = P \cdot T = R \cdot I^2 \cdot T$$

oraz moc i energię prądu okresowego

$$p = u \cdot i = R \cdot i^2$$

$$E = \int_{t_0}^{T+t_0} p dt = \int_{t_0}^{T+t_0} R \cdot i^2 dt$$

i przyrównując energie

$$R \cdot I^2 \cdot T = \int_{t_0}^{T+t_0} R [i^2] dt$$

otrzymuje się:

$$I_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (i^2) dt}$$

Do pomiaru wartości skutecznych sygnału służą m.in. mierniki o ustroju elektromagnetycznym.

Pomiędzy przedstawionymi wielkościami wartości skutecznej, średniej i maksymalnej zachodzą związki, które określa się w postaci współczynników. Dla każdego sygnału okresowego, można wyznaczyć wartość liczbową określającą stosunek wartości skutecznej (F_{sk}) tego przebiegu do jego wartości średniej (F_{sr}).

$$k_k = \frac{F_{sk}}{F_{sr}}$$

Wyznaczony według tej zależności współczynnik k_k nosi nazwę współczynnika kształtu. Podobnie można wyznaczyć stosunek wartości maksymalnej sygnału (F_{max}) do jego wartości skutecznej (F_{sk}), czyli:

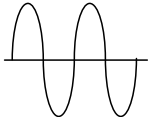
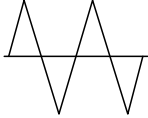
$$k_s = \frac{F_{max}}{F_{sk}}$$

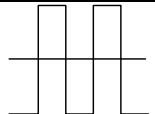



Wyliczony według tego równania współczynnik k_s nosi nazwę współczynnika szczytu. Kolejnym współczynnikiem jest współczynnik impulsowości k_i , który jest definiowany jako

$$k_i = \frac{F_{max}}{F_{sr}}$$

Z podanych powyżej relacji łatwo wywnioskować, że tak zdefiniowane współczynniki kształtu i szczytu są różne dla sygnałów o różnych kształtach. Dla sygnałów o identycznych kształtach, niezależnie od częstotliwości tych sygnałów ich amplitudy i fazy początkowej, współczynniki k_k i k_s mają tę samą wartość. Wartości współczynników k_k i k_s , dla kilku podstawowych kształtów sygnałów elektrycznych zestawiono w tabeli 1.1.

Tab. 1.1. Zestawienie współczynników szczytu i kształtu dla wybranych sygnałów zmiennych

Lp	Kształt sygnału		Współczynnik kształtu	Współczynnik szczytu
1	sinus		$k_k = \sqrt{2}$	$k_s = \frac{\pi}{\sqrt{8}}$
2	trójkąt		$k_k = \sqrt{3}$	$k_s = \frac{2}{\sqrt{3}}$

3	prostokąt		$k_k = 1$	$k_s = 1$
4	sygnał sinus wyprostowany detekcja jednopółwkowa		$k_k = 2$	$k_s = \frac{\pi}{2}$
5	sygnał sinus wyprostowany detekcja dwupółwkowa		$k_k = \sqrt{2}$	$k_s = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
6	sygnał trójkąt wyprostowany detekcja dwupółwkowa		$k_k = \sqrt{3}$	$k_s = \frac{2}{\sqrt{3}}$

Sygnały elektryczne są wytwarzane (generowane) przez urządzenia nazywane generatorami. W odniesieniu do zastosowań energetycznych – rozważane są tu m.in. prądnice, alternatory, moduły fotowoltaiczne. W przypadku zastosowań elektronicznych wykorzystywane są modułowe generatory sygnałów (sinus, prostokąt, trójkąt). Podstawowymi parametrami charakteryzującymi generatory są:

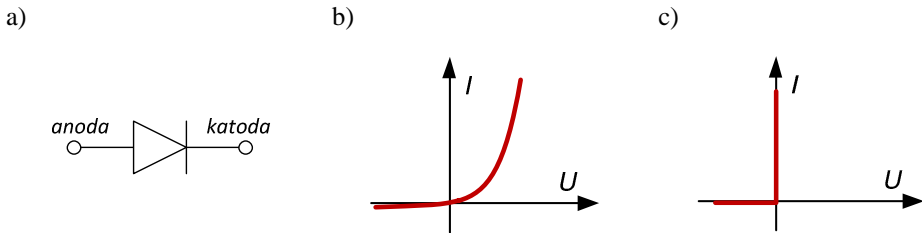
- rodzaj generowanego sygnału (kształt sygnału),
- zakres zmian wartości sygnału wyjściowego (wartość minimalna, wartość maksymalna) oraz sposób jej zmiany (płynny, skokowy),
- zakres zmian wartości częstotliwości generowanego sygnału (minimalna częstotliwość i maksymalna częstotliwość),
- sposób zmiany częstotliwości generowanego sygnału (najczęściej jest to płynna zmiana w podzakresie i skokowa przy zmianie zakresu),
- możliwość nakładania generowanego sygnału zmiennego na sygnał stałoprądowy,
- stałość częstotliwości generowanego sygnału.

1.2 Elementy i układy prostownicze

Prostownik to urządzenie elektryczne (lub układ) przetwarzające prąd przemienny (dwukierunkowy) na jednokierunkowy. W prostownikach stosuje się zwykle diody półprzewodnikowe wykorzystujące w swej strukturze złącze p-n. Złącze p-n powstaje na styku warstw półprzewodnika typu p i n. Półprzewodnik typu n powstaje przez domieszkowanie półprzewodnika (najczęściej krzemu) pierwiastkiem o pięciu elektronach walencyjnych (są to tzw. domieszki donorowe). W półprzewodniku typu n zastąpienie jednego atomu krzemu przez atom domieszki powoduje, że jeden elektron domieszki po dostarczeniu niewielkiej energii staje się elektronem swobodnie poruszającym się w przestrzeni domieszkowanego kryształu. Półprzewodnik typu p powstaje przez domieszkowanie półprzewodnika pierwiastkiem o trzech elektronach walencyjnych (są to tzw. domieszki akceptorowe). Tego rodzaju domieszka powoduje, że wskutek braku elektronu (jedno z wiązań jest „niekompletne”) powstaje

tw. dziura. Po dostarczeniu niewielkiej energii dziura może zostać zapełniona przez dowolny elektron walencyjny sąsiedniego atomu. W ten sposób dziura może przemieszczać się w kryształach półprzewodnika. W półprzewodniku typu n istnieje nadmiar elektronów swobodnych (są one tzw. nośnikami większościowym prądu). Analogicznie w półprzewodniku typu p nośnikami większościowym prądu są dziury.

W rzeczywistym rozwiązaniu dioda ma dwie końcówki – anodę i katodę. Gdy potencjał anody jest wyższy od potencjału katody, dioda znajduje się w stanie przewodzenia – jej rezystancja jest niewielka. W przeciwnym biegunowo podłączeniu dioda znajduje się w stanie zaporowym – jej rezystancja jest bardzo duża (płyne wówczas niewielki prąd wsteczny o wartościach kilku mikroamperów, który gwałtownie wzrasta po przekroczeniu tzw. napięcia przebicia U_z). Rzeczywista dioda ma charakterystykę prądowo-napięciową pokazaną na rysunku 1.3a. Często również spadki napięć na diodach pomija się całkowicie, przyjmując, że stanowi ona idealny element prostowniczy (rys. 1.3c).

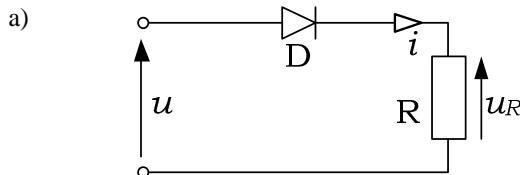


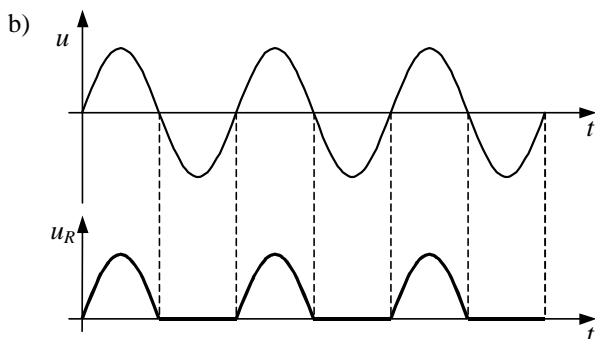
Rys. 1.3. Symbol diody (a), charakterystyki prądowo-napięciowe modelu diody rzeczywistej (b) oraz diody idealnej (c)

Prostownik jednopółkowy

Najprostszym prostownikiem jest prostownik jednopółkowy (1-fazowy prosty), wykorzystujący jedną diodę prostowniczą. Schemat takiego prostownika wraz z przebiegami napięcia odbiornika i napięcia źródła przedstawiono na rys. 1.4a.

Rozpatrując pracę układu ze schematu po zasileniu go napięciem sinusoidalnie zmiennym wyraźnie zaznaczają się dwa stany. W początkowej chwili, potencjał anody jest wyższy od potencjału katody (dodatnia półwłoka sinusoidy) i dioda przewodzi. Jeśli natomiast potencjał anody jest niższy od potencjału katody (ujemne półwłoki sinusoidy), to dioda nie przewodzi ($i \approx 0$).





Rys. 1.4. Układ z prostownikiem jednopółkowym (a) i przebiegi napięć w obwodzie (b)

Wartość średnia spadku napięcia wyprostowanego na rezystorze wynosi:

$$U_{Rsr} = \frac{1}{T} \int_0^T u_R dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin(\omega t) dt = \frac{1}{\omega T} (-\cos(\omega t))_0^{T/2} = \frac{U_m}{2\pi} (1 + 1) = \frac{U_m}{\pi}$$

Płynący w obwodzie prąd ma charakter tętniący, jest sumą składowej stałej i składowej zmiennej. Stosunek wartości skutecznej składowej zmiennej na wyjściu prostownika do wartości składowej stałej nosi nazwę współczynnika tętnień.

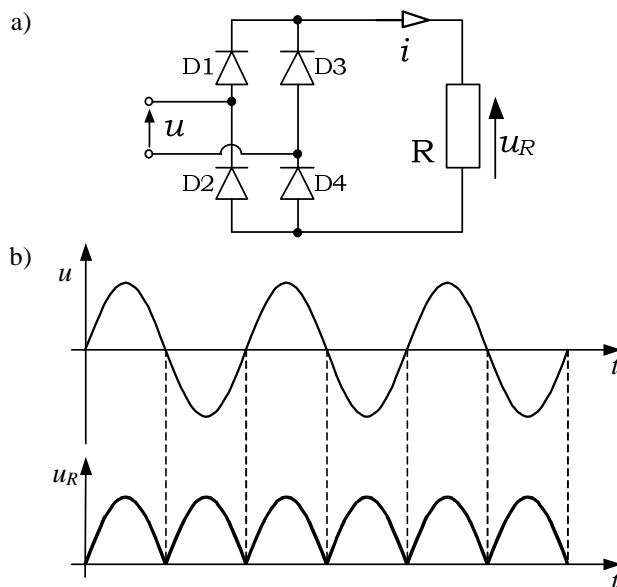
Dla prostownika jednopółkowego współczynnik tętnień wynosi 1,21. Sprawnością przetwarzania prostownika jest stosunek mocy czynnej, wydzielanej w odbiorniku do mocy pozornej prądu przemiennego pobieranej ze źródła. Teoretyczna sprawność prostowania jednopółkowego wynosi około 40%. Przy prostowaniu jednopółkowym prąd w odbiorniku płynie tylko przez połowę okresu napięcia zasilającego. Dla wielu zastosowań może to być niekorzystne.

Prostownik dwupółkowy w układzie Graetza

Najpopularniejszym prostownikiem dwupółkowym jest tzw. mostek Graetza (rys. 1.5a). Gdy potencjał węzła A jest wyższy od potencjału punktu B, diody D1 i D4 przewodzą, a diody D2 i D3 znajdują się w stanie zaporowym. Ma to miejsce jeśli napięcie wejściowe jest większe od zera (dla dodatnich połówek sinusoidy). Jeśli napięcie wejściowe jest mniejsze od zera (ujemne połówki), potencjał punktu A jest niższy od potencjału punktu B i diody D1 i D4 znajdują się w stanie zaporowym, a diody D2 i D3 w stanie przewodzenia. W tej sytuacji kierunek prądu płynącego przez rezystor nie ulega zmianie, a więc ujemne połówki zostają „przerzucone do góry” (rys. 1.5b).

Wartość średnia spadku napięcia wyprostowanego wynosi:

$$U_{Rsr} = \frac{1}{T} \int_0^T u_R dt = \frac{1}{T} \int_0^T (U_m \sin \omega t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} U_m$$



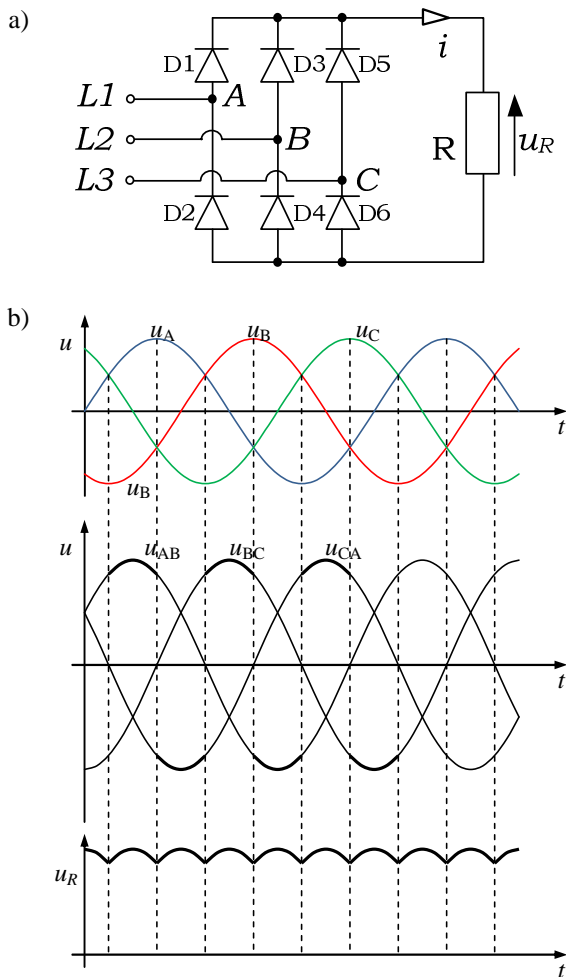
Rys. 1.5. Mostek Graetza (a) i przebiegi napięć (b)

W prostownikach dwupołówkowych prostowane są obydwie połowki sinusoidalnego prądu przemiennego. Impulsy prądu wyprostowanego przepływają przez rezystancję obciążenia w ciągu całego okresu, a wartość średnia jest dwukrotnie wyższa niż w prostowniku jedupołówkowym. Współczynnik tętnień prostownika dwupołówkowego wynosi 0,482, a sprawność prostowania to teoretycznie ok. 81%.

Prostownik trójfazowy

Do prostowania napięcia trójfazowego wykorzystuje się tzw. układ 6D (rys. 1.6a). Działa on na zasadzie podobnej do zasady działania mostka Graetza. Zakładając, że początkowo węzeł A ma najwyższy potencjał, a węzeł B najniższy (rys. 1.6b, górny wykres), wówczas przewodzą diody D1 i D4, a pozostałe diody znajdują się w stanie zaporowym, a więc napięcie u_R jest równe u_{AB} (pomijając spadki napięć na diodach). Stan taki trwa $1/6$ okresu (T) sinusoidalnego napięcia trójfazowego. Po tym czasie potencjał węzła C staje się niższy od potencjału węzła B (potencjał A nadal jest najwyższy) i rolę diody D4 przejmuje dioda D6 (przewodzą D1 i D6). Wtedy napięcie $u_R = u_{AC} = -u_{CA}$. Po dalszym czasie ($T/6$), potencjał węzła B staje się najwyższy i rolę diody D1 przejmuje D3 (przewodzi D3 i D6), a napięcie $u_R = u_{BC}$. Następnie potencjał punktu A staje się najniższy (przewodzą diody D3 i D2, $u_R = u_{BA} = -u_{AB}$), potem potencjał punktu C staje się najwyższy (przewodzą diody D5 i D2, $u_R = u_{CA}$) i wreszcie potencjał punktu B staje się najniższy (przewodzą diody D5 i D4, $u_R = u_{CB} = -u_{BC}$). Po tym czasie cykl pracy prostownika powtarza się. Wartość średnia napięcia na rezystorze będzie wynosiła:

$$U_{srR} = \frac{1}{T} \int_0^T u_R dt = \frac{6}{T} \int_{T/3}^{2T/3} U_m \sin \omega t dt = \frac{6U_m}{\omega T} (-\cos \omega t)_{T/3}^{2T/3} = \frac{3}{\pi} U_m$$

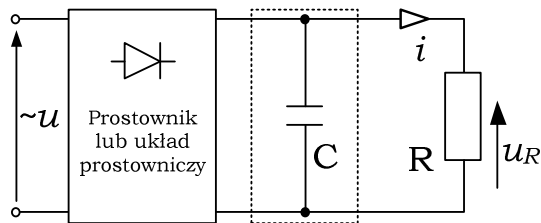


Rys. 1.6. Układ prostownika trójfazowego (a) i przebiegi napięć (b)

1.3. Wygładzanie napięcia wyprostowanego

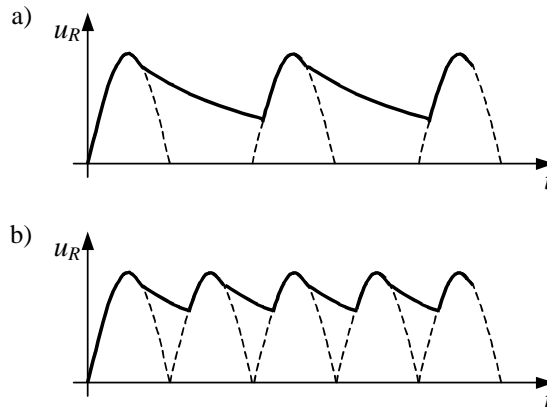
W celu polepszenia jakości napięcia lub prądu wyprostowanego na wyjściu prostownika podłącza się zwykle filtr dolnoprzepustowy. Najprostszym rodzajem filtra jest kondensator połączony równolegle z prostownikiem. Schemat ideowy prostownika z prostym filtrem wygładzającym przedstawiono na rysunku 1.7. Gdy do wyjścia

prostownika podłączymy kondensator, to podczas narastania napięcia wyjściowego kondensator jest ładowany i napięcie wyjściowe pozostaje niezmienione w stosunku do napięcia w układzie bez kondensatora. W czasie opadania wartości napięcia wyjściowego kondensator rozładowuje się, częściowo podtrzymując napięcie. Im większa pojemność, tym wolniej następuje rozładowanie i tym gładziej przebieg napięcia wyprostowanego. Przebiegi napięcia wyprostowanego w układach 1D i mostkowym 4D z włączonymi kondensatorami przedstawiono na rysunku 1.8.



Rys. 1.7. Kondensator C jako filtr wygładzający

Z matematycznego punktu widzenia wygładzające działanie kondensatora tłumaczy się jego zdolnością do usuwania z napięcia wysokich harmonicznych. Pozostałe (niższe) harmoniczne dają w efekcie „mniej pulsacyjny” przebieg.



Rys. 1.8. Przebiegi napięć wygładzonych za pomocą kondensatora: a) prostownik 1D, b) prostownik mostkowy

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodami pomiaru napięć sygnałów elektrycznych przy użyciu mierników analogowych, multimetru cyfrowego i oscyloskopu oraz poznanie podstawowych rodzajów prostowników i sposobów wygładzania napięcia w obwodzie.

Przed badaniami zapoznać się z instrukcją stanowiskową BHP oraz instrukcjami obsługi mierników i badanych urządzeń. O wszelkich nieprawidłowościach w pracy przyrządów należy natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia.

2.1. Wykonanie ćwiczenia laboratoryjnego

W ramach realizacji ćwiczenia należy zapoznać się z podstawowymi układami prostownikowymi. Zaobserwować zachowanie się prostownika z filtracją napięcia wyjściowego i bez filtracji. Zaobserwować wpływ wartości prądu obciążenia na przebieg napięcia wyjściowego po filtracji. Zarejestrować na oscyloskopie cyfrowym przebiegi napięć dla 3 przypadków:

- układ bez prostownika – badany jest bezpośrednio sygnał z generatora,
- układ z prostownikiem 1-fazowym jednopółkownikowym (układ prosty),
- układ z prostownikiem dwupółkownikowym (układ mostkowy).

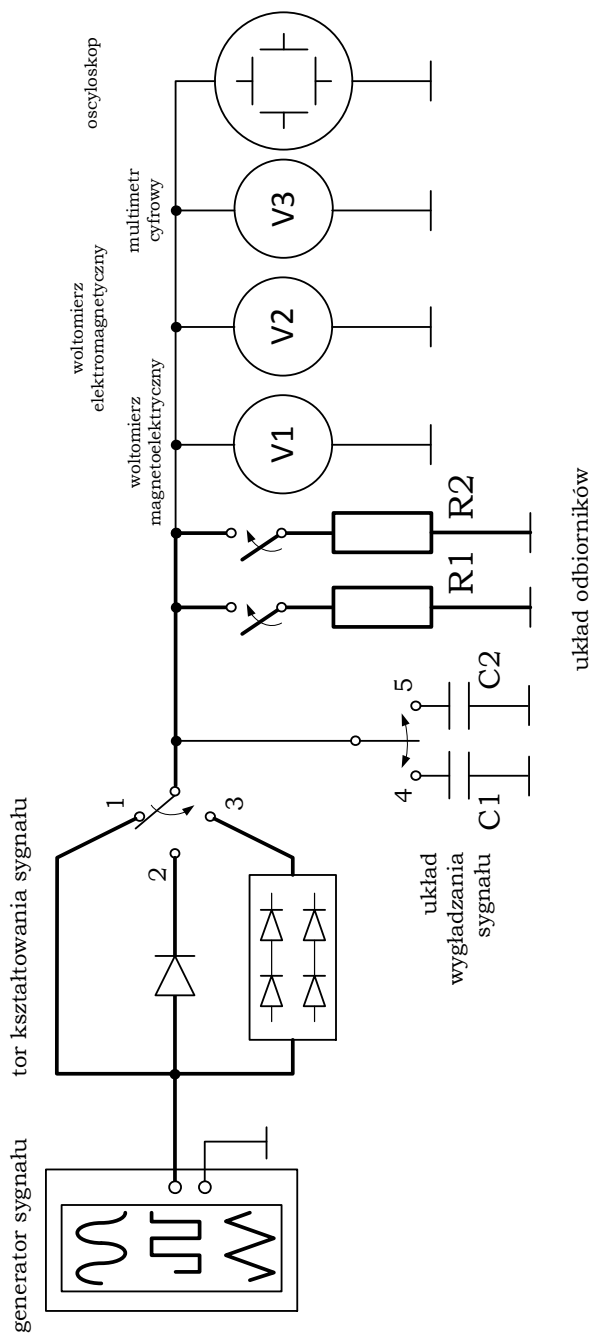
Połączyć układ pomiarowy którego schemat przedstawiono na rysunku 2.1. Do gniazda współosiowego doprowadzić sygnał z generatora przewodem koncentrycznym. Do gniazd bananowych na płycie makiety podłączyć woltomierze analogowe i multimetr cyfrowy pracujący jako woltomierz napięcia. Zwrócić szczególną uwagę na prawidłową polaryzację napięcia stałego (+/-). Jednocześnie ten sam sygnał doprowadzić do wejścia kanału oscyloskopu (Y1) przewodem koncentrycznym. Przełącznikami funkcyjnymi (1,2,3) na płycie makiety ustawić rodzaj sygnału (bez prostowania i z prostowaniem), układ wygładzania (C_1 lub C_2) i w uzgodnieniu z prowadzącym wybrać odpowiednie obciążenie (R_1 , R_2 lub równoległe połączenie R_1 i R_2).

Do układu pomiarowego doprowadzić z generatora sygnał badany:

- sinusoida, o częstotliwości $f=50\text{Hz}$ i amplitudzie $U_{max}=4\text{V}$,
- trójkąt, o częstotliwości $f=50\text{Hz}$ i amplitudzie $U_{max}=4\text{V}$,
- prostokąt, o częstotliwości $f=50\text{Hz}$ i amplitudzie $U_{max}=4\text{V}$.

Szczegółowe ustawienia wartości mogą być różne dla grup laboratoryjnych.

Wszystkie wskazania mierników zestawić w tabeli pomiarowej 2.1, wskazania oscyloskopu zapisać na nośniku elektronicznym (oscyloskop posiada gniazdo USB), dopuszcza się zrobienie zdjęć rejestrujących przebieg sygnału na oscyloskopie.



Rys. 2.1. Układ pomiarowy do obserwacji oraz pomiaru sygnału

W sprawozdaniu zamieścić w formie graficznej wszystkie przebiegi napięć, które były badane na stanowisku (dla trzech układów pracy). Wykonać obliczenia wartości średniej i skutecznej napięcia na zaciskach wyjściowych każdego z badanych prostowników dla przypadku pracy bez kondensatorów oraz współczynniki kształtu i szczytu. Otrzymane wyniki porównać ze zmierzonymi. Opracować wnioski dotyczące uzyskanych wyników.

Tab. 2.1. Wyniki pomiarów

Lp	rodzaj sygnału	miernik 1	miernik 2	multimetr	multimetr	oscyloskop	obliczenia			
		U_{sk}	$U_{\dot{s}r}$	U_{sk}	$U_{\dot{s}r}$	U_{max}	U_{sk}	$U_{\dot{s}r}$	k_k	k_s
		V	V	V	V	V	V	V	V	V
1	sinus obciążenie R1									
2	sinus obciążenie R2									
3	sinus prostowany jednopołówkowo									
4	sinus prostowany dwupołówkowo									
5	sinus prostowany jednopołówkowo wygładzany C1									
6	sinus prostowany jednopołówkowo wygładzany C2									
7	prostokąt									
8	prostokąt prostowany jednopołówkowo									
9	prostokąt prostowany dwupołówkowo									
10	prostokąt prostowany jednopołówkowo wygładzany C2									
11	trójkąt									
12	trójkąt prostowany jednopołówkowo									
13	trójkąt prostowany jednopołówkowo wygładzany C2									

Ćwiczenie 2

Badanie jakości energii w instalacjach z OZE

1.1 Wprowadzenie

Wraz z rozwojem cywilizacji nieuchronnie wzrasta liczba urządzeń i technologii, które mają coraz większe wymagania w odniesieniu do jakości i niezawodności dostawy energii elektrycznej. Niezawodne działanie wrażliwych na zaburzenia, mikroprocesorowych i komputerowych systemów stosowanych w sterowaniu linii technologicznych i procesów przemysłowych, w różnego rodzaju usługach teleinformatycznych, medycznych a nawet w sprzęcie AGD i RTV wymaga zasilania energią o wysokiej jakości. Niestety, w rosnącej liczbie urządzeń elektrycznych znaczną częścią procentową są odbiorniki, które z uwagi na nieliniowe charakterystyki prądowo-napięciowe wpływają negatywnie na linię zasilającą, pogarszając parametry jakości energii dostępnej w sieci elektroenergetycznej. W związku z powyższym, aktualnym wyzwaniem, jakie stoi przed współczesną energetyką i elektrotechniką jest wprowadzanie do systemu kompatybilnych urządzeń nieoddziaływujących negatywnie na system energetyczny, projektowanie i wdrażanie układów podnoszących jakość energii (kompensujących lub filtrujących) oraz ciągłe prowadzenie monitoringu parametrów energii elektrycznej.

Przemysł zużywa ponad połowę wytworzonej energii elektrycznej krajowego systemu energetycznego. Zasilanie zakładów przemysłowych energią elektryczną o złej jakości powoduje powstanie strat ekonomicznych, wymiernych (strat energii) oraz niewymiernych (uszkodzenia elektryczne i mechaniczne silników i maszyn roboczych). Często straty niewymierne w konsekwencji mogą być przyczyną dużych strat ekonomicznych związanych z zakłóceniami w procesie technologicznym.

Energia elektryczna dociera do końcowego użytkownika przebywając drogę od wytwórcy (elektrowni), poprzez system urządzeń przesyłowych i rozdzielczych (sieci WN, SN). Każde z urządzeń biorących udział w tym procesie charakteryzuje się własną jakością i potencjalnie może ulegać uszkodzeniom i awariom, zmuszającym do całkowitego bądź chwilowego wycofania z eksploatacji. Te niepożądane efekty są wywoływane oddziaływaniem wielkości elektrycznych (odbiegających od znamionowych), mechanicznych, chemicznych, ekstremalnych warunków atmosferycznych, procesów starzenia a także wpływem działalności człowieka. W skrajnych przypadkach zakłócenia w systemie dystrybucji mogą być przyczyną przerw w dostawie energii dla jednego bądź wielu odbiorców.

Zmiany w prawodawstwie krajowym pozwalają traktować energię elektryczną jako towar, który podlega określonej ocenie i standaryzacji. Energia elektryczna jest

więc nie tylko wielkością fizyczną ale także podmiotem w handlu, podlegającą prawu energetycznemu.

Złożoność procesu związanego z wytwarzaniem, dystrybucją i użytkowaniem energii i wynikające z tego trudne do sprecyzowania techniczno-prawne relacje między dostawcą a odbiorcą sprawiają, że wszystkie strony potrzebują dokładnej informacji o jakości energii elektrycznej.

Problemy jakości energii nabrały jeszcze bardziej ostrego wymiaru z chwilą coraz bardziej znaczącego wzrostu roli systemów rozproszonej generacji, a w tym także wzrostu zainteresowania odnawialnymi źródłami energii.

Jakość energii elektrycznej jest cechą świadczącą o jej przydatności do zasilania zarówno pojedynczych odbiorników, instalacji jak i całych systemów i jest określona zbiorem parametrów i wskaźników opisujących właściwości procesu dostarczania energii do użytkownika w normalnych warunkach pracy, charakteryzujących ciągłość zasilania oraz opisujących napięcie zasilające ze szczególnym uwzględnieniem zaburzeń przewodzonych, w tym także dwukierunkowych.

Użyteczną częścią oceny jakości energii elektrycznej w punkcie systemu energetycznego (przyłącze, odbiornik) są standardy, zawierające m.in. dopuszczalne granice zmian jej parametrów. Oceny jakości energii elektrycznej dokonuje się na podstawie obserwacji stałości podstawowych parametrów, takich jak częstotliwość, wartości skuteczne napięć, zmiany i wahania napięcia, zapady napięcia, krótkie i długie przerwy w zasilaniu, niesymetria napięć, udział wyższych harmonicznych częstotliwości podstawowej w przebiegach wynikowych (do 40-tej harmonicznej włącznie) i ogólny współczynnik odkształceń harmonicznymi (*THD*).

Większość parametrów podlegających ocenie jest rejestrowana w postaci uśrednianych w pewnych okresach czasu próbek. Akty prawne zawierają maksymalne dopuszczalne odchylenia wskazanych parametrów od wartości nominalnych każdego parametru w okresach tygodniowych. Szczegółowe definicje pojęć składających się na standard jakości energii i metody pomiaru parametrów jakości zawierają normy i literatura branżowa.

W przeszłości nie przywiązywano dużej wagi do jakości energii elektrycznej, gdyż użytkowane w tym czasie odbiorniki (żarówki, urządzenia grzejne, silniki) były mało wrażliwe na obniżoną jej jakość. Obecnie wśród odbiorników zaczynają dominować urządzenia o nieliniowych charakterystykach prądowo-napięciowych, zawierające elementy energoelektroniczne bardzo wrażliwe na jakość napięcia zasilającego, i które same niekiedy wprowadzają znaczne zakłócenia do sieci.

Stały rozwój systemów rozproszonych, wykorzystujących odnawialne źródła energii o zmiennej wydolności również prowadzi do niepokojących sytuacji, w których i źródła energii i odbiorniki należy traktować jako obiekty niespokojne.

W celu poprawy sytuacji jakości energii wprowadzane są przepisy zarówno na poziomie krajowym jak i międzynarodowym, odnoszące się do parametrów jakościowych, które obejmują coraz więcej wielkości, stając się bardziej szczegółowe i rygorystyczne. Nie do przecenienia są też wszelkie działania, związane z poszukiwaniem i doskonaleniem odnawialnych źródeł energii, układów przekształcających energię

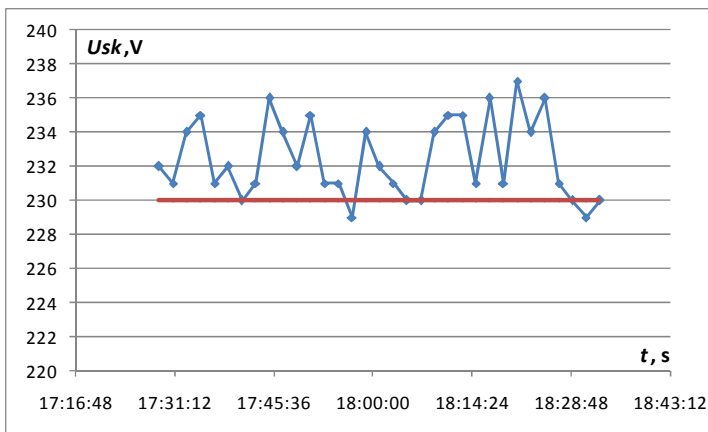
oraz zasobników energii takich jak superkondensatory czy nadprzewodnikowe układy magnetyczne.

1.2. Parametry napięcia

Decydujący wpływ na pracę odbiorników ma wartość napięcia zasilającego występująca długotrwale na zaciskach pracujących odbiorników. Wartość skuteczna znamionowego napięcia U_n publicznej sieci niskiego napięcia wynosi 230V między fazą a przewodem neutralnym, a 400V pomiędzy fazami. Poziom napięcia jest zdarzeniem losowym i nie ma możliwości, aby napięcie w każdym punkcie sieci było równe znamionowemu. Nie powinno ono jednak przekraczać wartości dopuszczalnych przez normę i przepisy. Z pominięciem przerw w zasilaniu, napięcie sieci może podlegać zmianom, przy czym średnie z dziesięciominutowych pomiarów wartości skutecznych powinny mieścić się w przedziale $U_n \pm 10\%$. Miarą stałości poziomu napięcia są jego odchylenia definiowane jako długotrwała różnica między napięciem zasilającym U , a jego wartością znamionową U_n (norma EN-PN-50160):

$$\delta U_{\%} = \frac{|U - U_n|}{U_n} \cdot 100\%$$

przy czym zmiany wartości napięcia dokonują się stosunkowo wolno, wolniej niż $0,02U_n$ na sekundę. Przykład godzinnej zmienności napięcia zasilającego w sieci miejskiej Lublina (próbki co 2 minuty) przedstawia poniższy wykres.



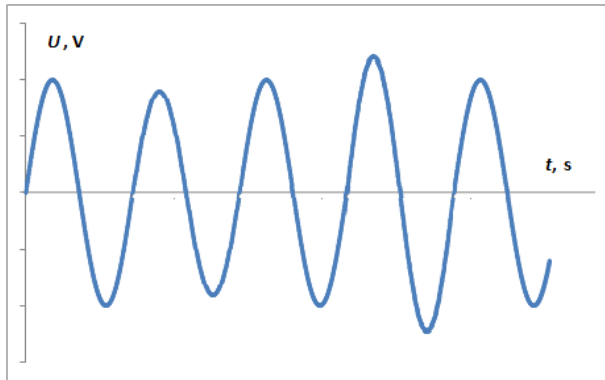
Rys. 1.1. Przykładowa zmienność napięcia w sieci energetycznej oraz wartość znamionowa 230V

Szybkie zmiany wartości skutecznej napięcia sieci pomiędzy dwoma następującymi po sobie poziomami, utrzymującymi się przez skończony, ale przypadkowo zmienny czas, nie przekraczają w normalnych warunkach pracy sieci zazwyczaj 5% U_n . W praktyce dopuszczalne są także 10% zmiany napięcia o krótkim czasie trwania,

występujące nawet kilkakrotnie w ciągu doby. Takie zaburzenia są wywoływane zmianami obciążenia jak też procesami łączeniowymi w sieci.

Wahania napięcia

Wahania to seria zmian wartości skutecznej napięcia lub cykliczna zmiana obwiedni napięcia. Przykładowy przebieg ilustrujący to zjawisko pokazano na rysunku 1.2. Główną przyczyną wahań napięcia są duże zmiany obciążenia sieci zasilającej (w szczególności odbiorników pobierających dużą moc bierną, tj. piece łukowe, napędy elektryczne dużych zakładów, spawarki elektryczne itp.).



Rys. 1.2. Przykładowy przebieg sygnału ilustrujący wahania napięcia, $U_{sk}=230V$

Migotanie światła

Z wahaniami powiązane jest zjawisko migotania światła (ang. flicker) definiowane jako subiektywne wrażenie niestabilności postrzegania wzrokowego spowodowane przez zmiany strumienia świetlnego, którego luminacja lub rozkład spektralny zmieniają się w czasie.

Migotanie światła jest spowodowane wahaniami napięcia sieci i ma wiele przyczyn. Najczęściej występuje w urządzeniach pobierających duże i zmienne prądy. Może prowadzić do obniżenia żywotności lamp żarowych. Także elektrownie wiatrowe mogą stać się przyczyną występowania migotania napięcia.

Uciążliwość migotania światła określana jest na drodze pomiarowej. Przez wskaźnik długookresowego migotania światła P_{lt} należy rozumieć wskaźnik obliczany na podstawie sekwencji 12 kolejnych wartości wskaźników krótkookresowego migotania światła P_{sti} występujących w okresie 2 godzin, według zależności:

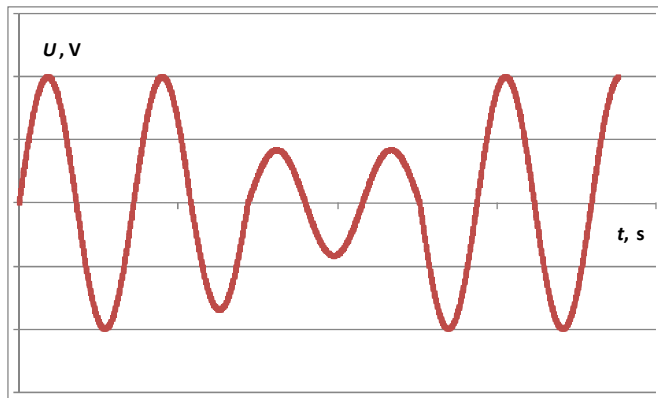
$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}}{12}}$$

gdzie: P_{lt} – wskaźnik długookresowego migotania, mierzonego przez 10 minut,
 P_{sti} – wskaźnik krótkookresowego migotania światła.

Ze względu na charakter zjawiska i konieczność uwzględnienia percepcji ludzkiego oka trudny jest sam pomiar i interpretacja jego wyników. Poziom dyskomfortu wzrasta wraz ze wzrostem amplitudy i częstotliwości migotania. Przy pewnych częstotliwościach, zawartych w granicach 0,1÷30Hz nawet bardzo małe amplitudy wahań mogą być uciążliwe.

Zapad napięcia

Zapad to zjawisko, określające nagłe zmniejszenie się napięcia do wartości mieszczącej się w zakresie od 90% do 1% napięcia ustalonego (z reguły identyfikuje się tu napięcie znamionowe), po którym w krótkim czasie następuje powrót do wartości początkowej (rys. 1.3). Przyjmuje się, że czas trwania zapadu mieści się w granicach od 10ms do 60s. Różnica między napięciem w czasie trwania zapadu a ustalonym nosi nazwę głębokości zapadu. Zapady są wynikiem zwarć bądź rozruchów dużych maszyn i zazwyczaj należą do zdarzeń losowych. Większość z nich trwa nie dłużej niż jedna sekunda, a ich głębokość nie przekracza 60%. Jako środek zaradczy można stosować energoelektroniczne kompensatory mocy udarowej, a także układy miękkiego rozruchu.



Rys. 1.3. Przykładowy przebieg napięcia ilustrujący zjawisko zapadu w zasilaniu, $U_{sk} = 230V$

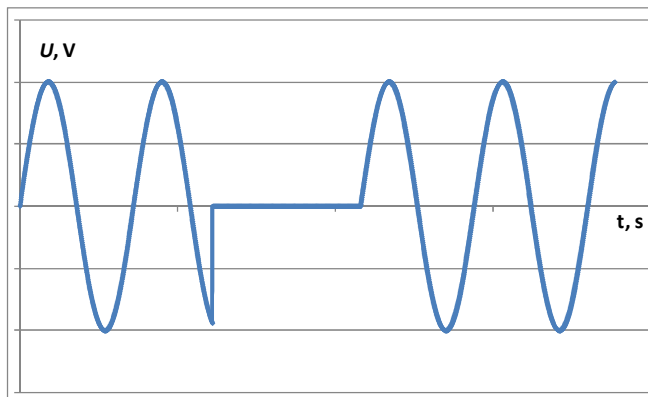
Przerwa w zasilaniu to zjawisko, które opisuje stan w określonym punkcie sieci energetycznej w którym napięcie jest mniejsze niż 1% napięcia znamionowego. Przerwy wynikają z planowych energetycznych prac serwisowych bądź wyłączeń losowych, spowodowanych np. trwałymi lub przemijającymi zwarciami, uszkodzeniami urządzeń, zjawiskami atmosferycznymi – np. zvarciami spowodowanymi gałęziami opadającymi na linię. Poprawę sytuacji daje wymiana przewodów na izolowane (zwiększa to niestety koszty), wprowadzanie technologii prac pod napięciem, upraszczanie stacji SN/nn.

Rozróżnia się przerwy krótkie (do trzech minut) i długie (powyżej trzech minut). Przykładowy przebieg ilustrujący zjawisko zaniku pokazano na rysunku 1.4. Na krót-

Wrażliwe na zmiany napięcia szczególnie wrażliwy jest sprzęt komputerowy i teleinformatyczny. W wyniku takich zaburzeń może dochodzić do tzw. zawieszania komputerów czy zaburzeń transmisji danych w sieciach teleinformatycznych. Może to prowadzić do utraty danych oraz przerw w transmisji.

Najpewniejszym środkiem zabezpieczającym odbiorniki przed zanikiem zasilania jest użycie jednego z układów bezprzerwowego zasilania, przy czym w przypadku krótkich przerw mogą być to układy z magazynem energii np. w postaci superkondensatorów, a w przypadku dłuższych przerw – nawet układy prądotwórcze z silnikami spalinowymi.

Pomiar tych zakłóceń jest stosunkowo prosty i ma charakter rejestracyjny, a klasycznymi środkami zaradczymi są podwyższenie napięcia na transformatorze, zwiększenie przekroju przewodów, wydzielenie dodatkowego obwodu.



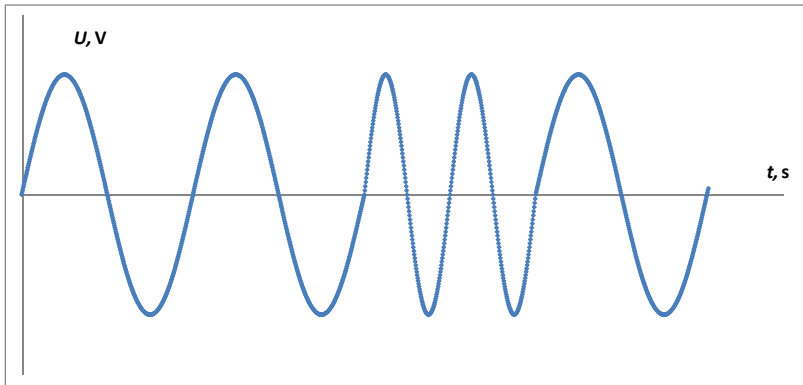
Rys. 1.4. Przykładowy przebieg napięcia ilustrujący krótką przerwę w zasilaniu, $U_{sk}=230V$

Przy określaniu jakości energii można także identyfikować chwilowe wzrosty napięcia, przy czym chwilowe oznacza czas z przedziału od połowy okresu do minuty. Zjawisko to zdefiniowane jest jako zwiększenie skutecznej wartości napięcia w stopniu przekraczającym normalnie przyjęty przedział tolerancji (np. w relacji do napięcia znamionowego). Przy dużych wartościach zwiększenia wartości napięcia zjawisko jest definiowane jako przepięcia. Najczęściej przepięcia są zaburzeniami krótkotrwałymi i oscylacyjnymi, silnie tłumionymi i trwającymi do kilku milisekund, nałożonych na sinusoidalny przebieg napięcia sieci. Przepięcia przejściowe są zwykle wywołane wyładowaniami atmosferycznymi, przełączeniami, zwarciami, itp.

Częstotliwość

Znamionowa wartość częstotliwości napięcia linii, jako liczba powtórzeń przebiegu wartości chwilowej podstawowej harmonicznej tego napięcia występująca w ciągu 1 sekundy, powinna wynosić 50Hz. Wartość średnia częstotliwości, mierzona w normalnych warunkach pracy sieci w ciągu 10s, powinna wynosić 50Hz $\pm 1\%$, tzn.

mieścić się w granicach 49,5÷50,5Hz. Stabilność częstotliwości w systemie elektroenergetycznym jest zależna od bilansu mocy a odchyłki od częstotliwości znamionowej pojawiają się głównie w wyniku „kołysań mocy” w systemie energetycznym. Zmiany częstotliwości mają wpływ na pracę odbiorników o charakterze reaktancyjnym, nie wpływają natomiast na pracę odbiorników rezystancyjnych.



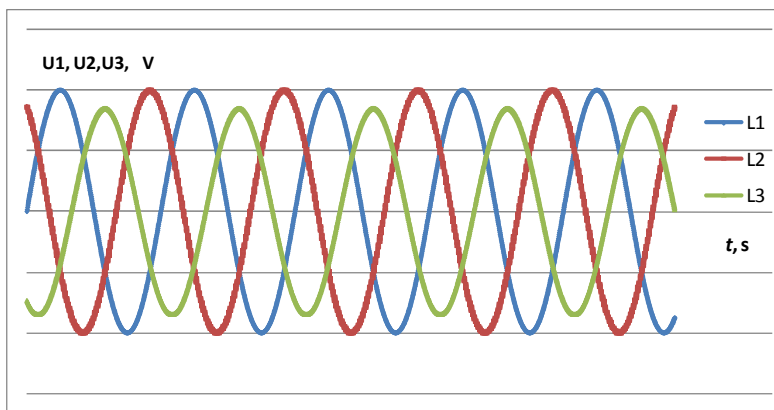
Rys. 1.5. Przykładowy przebieg napięcia ilustrujący zmiany częstotliwości sygnału, $U_{sk}=230V$

Niesymetria napięć

Większość odbiorników użytkowanych w gospodarstwach domowych wykonana jest jako jednofazowe. Praca takich odbiorników w sieci trójfazowej prowadzi do asymetrii prądów obciążenia, co powoduje asymetrię spadków napięć, a w konsekwencji asymetrię napięć zasilających. Jest to szczególnie widoczne na terenach wiejskich. Niesymetria oznacza stan, w którym wartości skuteczne napięć fazowych lub/ i kąty przesunięcia fazowego między napięciami poszczególnych faz nie są jednakowe. Miarą tego zaburzenia, wynikającego z asymetrycznego obciążenia linii, jest wskaźnik zawartości składowych symetrycznych kolejności przeciwnej i zerowej w stosunku do składowej symetrycznej kolejności zgodnej. Współczynnik asymetrii K_{2U} , jest ilorazem składowej symetrycznej przeciwnej i zgodnej napięcia.

$$K_{2U} = \frac{|U_{2(1)}|}{U_{1(1)}} \cdot 100\%$$

gdzie: $|U_{2(1)}|$ – wartość skuteczna napięcia kolejności przeciwnej dla pierwszej harmonicznej.



Rys. 1.6. Przykładowe przebiegi napięć ilustrujące asymetrię, $U_{sk} = 230V$

Dopuszczalne odchylenia niesymetrii $K_{2U} < 2\%$ przez 95% tygodnia przy 10 minutowym czasie uśredniania. Największe wartości tego współczynnika, rejestrowane są w godzinach wieczornych, kiedy to włączana jest do sieci największa liczba odbiorników gospodarstwa domowego

Niesymetria napięć i prądów w układzie trójfazowym wpływa niekorzystnie na pracę sieci oraz przyłączonych do niej odbiorników, ponieważ część z nich jest zasilana napięciem wyższym, a część niższym od znamionowego ze wszystkimi wpływającymi stąd konsekwencjami. Niesymetria powoduje np. w silnikach powstawanie tzw. momentów pasożytniczych, pomniejszających moment użyteczny, oraz prowadzi do wzrostu temperatury uzwojeń. Niesymetrii można zapobiec rozdzielając odpowiednio odbiorniki pomiędzy fazy bądź stosując układy wyrównujące obciążenie poszczególnych faz sieci. W szczególnych przypadkach symetrię obciążenia, przy niesymetrycznym odbiorniku trójfazowym, można uzyskać poprzez zastosowanie odpowiednich filtrów aktywnych.

Harmoniczne

Przyczyną powstawania harmonicznnych w sygnale zasilającym jest coraz większa ilość odbiorników nieliniowych (z urządzeniami energoelektronicznymi). Odbiorniki te z jednej strony umożliwiają stosowanie coraz nowszych technologii oraz oszczędzania energii, ale niewłaściwie eksploatowane lub budowane w niepoprawnych układach energoelektronicznych powodują pracę generującą zakłócenia i są przyczyną pogarszania się jakości energii elektrycznej.

Odształcenia krzywej napięcia i prądu (wyższe harmoniczne) należą do niekorzystnych zjawisk zachodzących w sieciach elektroenergetycznych. Mogą one powodować zakłócenia w pracy sieci, wiążące się zazwyczaj z przyrostem strat mocy w poszczególnych elementach, takich jak transformatory czy linie zasilające odbiorców. Dodatkowe straty mocy wpływają bezpośrednio na wzrost temperatury przewodów linii, w tym szczególnie przewodu neutralnego, co ma duże znaczenie

w przypadku linii kablowych, powodując szybsze starzenie się izolacji. Dodatkowe straty mocy w uzwojeniach transformatorów mogą doprowadzić w niektórych przypadkach do ich przeciążenia lub nawet uszkodzenia. Odbiornikami szczególnie wrażliwymi na występowanie wyższych harmonicznych w napięciu są także silniki i kondensatory. Wyższe harmoniczne powodują powstanie momentów pasożytniczych w uzwojeniach silnika, co może utrudnić lub wręcz uniemożliwić jego rozruch i prawidłową pracę. W pracy kondensatorów odkształcone napięcie wywołuje intensywne ich nagrzewanie, przyspieszając zużywanie się izolacji. Odkształcenia prądów i napięć wpływają również zakłócająco na pracę przyrządów pomiarowych, zabezpieczeń oraz niektórych odbiorników.

Harmoniczne można zauważyć obserwując kształt prądu pobieranego z sieci zasilającej przez odbiornik. W idealnym systemie energetycznym, przebieg prądu oraz napięcia zasilającego posiada charakter sinusoidalny. W przypadku gdy w systemie zasilania występują odbiorniki nieliniowe, przebiegi czasowe prądu i napięcia zostają odkształcone od sinusoidy.

Od strony matematycznej, zgodnie z teorią Fouriera, każdy okresowy przebieg niesinusoidalny można przedstawić w postaci sumy składowych wielkości przebiegu niezależnego od czasu A_0 , nazywanego również składową stałą oraz szeregu składowych sinusoid lub cosinusoid o różnych częstotliwościach wynoszących całkowitą krotność częstotliwości wielkości okresowej. Przebieg ten zwany szeregiem Fouriera, można zapisać w następujący sposób:

$$f(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (B_k \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) + C_k \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t))$$

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot dt$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot t) \cdot dt \quad C_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot t) \cdot dt$$

gdzie: $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi / T$, pulsacja w rad/s

n – liczba całkowita

A_0 – składowa stała

$B_k; C_k$ – współczynniki szeregu Fouriera.

Sinusoidę składową, której okres jest równy okresowi krzywej odkształconej nazywamy sinusoidą podstawową lub pierwszą harmoniczną. Następne sinusoidy składowe nazywają się harmonicznymi wyższymi, a więc harmoniczną drugą, trzecią itd. Częstotliwości sinusoid składowych są całkowitą wielokrotnością częstotliwości podstawowej i tworzą postępowanie arytmetyczne. Np. jeżeli częstotliwość danego urządzenia wynosi 50Hz, to harmonicznymi wyższymi są – druga harmoniczna wynosząca $2 \times 50\text{Hz} = 100\text{Hz}$, trzecia harmoniczna $3 \times 50\text{Hz} = 150\text{Hz}$ itd.

Identyfikacja harmoniczných może również zostać wykorzystana do budowania sygnału o założonym kształcie i częstotliwości. Przykładowy fragment rozkładu sygnału na szereg Fouriera analizowany do określania sygnału prostokątnej zaprezentowano poniżej. Do amplitudy sygnału podstawowego U_i odniesiono poszczególne harmoniczne, składową stałą pominięto a składowe parzyste wynoszą 0.

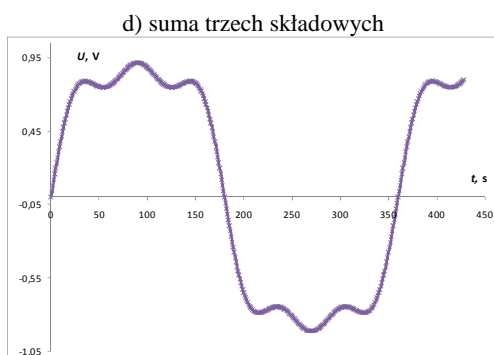
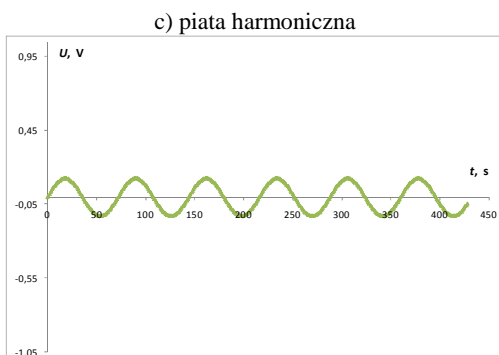
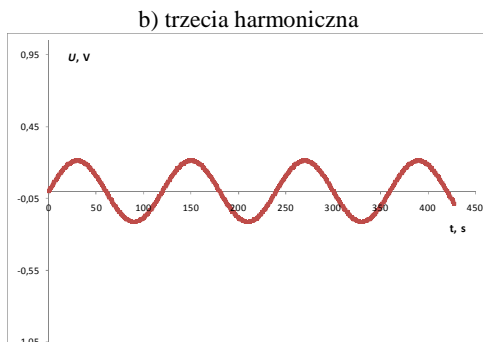
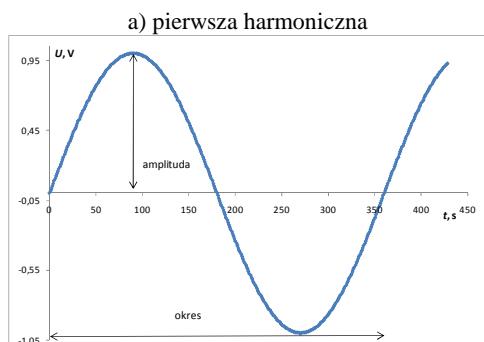
$$U_1 = B_1 = \frac{2 \times U_i}{n \times \pi} \sin(n \times \pi \times t) = \frac{2U_i}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$$

$$U_2 = B_2 = \frac{2 \times U_i}{n \times \pi} \sin(n \times \pi \times t) = \frac{2U_i}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{2}t\right) = 0$$

$$U_3 = B_3 = \frac{2 \times U_i}{n \times \pi} \sin(n \times \pi \times t) = \frac{2U_i}{3\pi} \sin\left(\frac{3\pi}{2}t\right)$$

$$U_4 = B_4 = \frac{2 \times U_i}{4 \times \pi} \sin(n \times \pi \times t) = \frac{2U_i}{4\pi} \sin\left(\frac{4\pi}{2}t\right) = 0$$

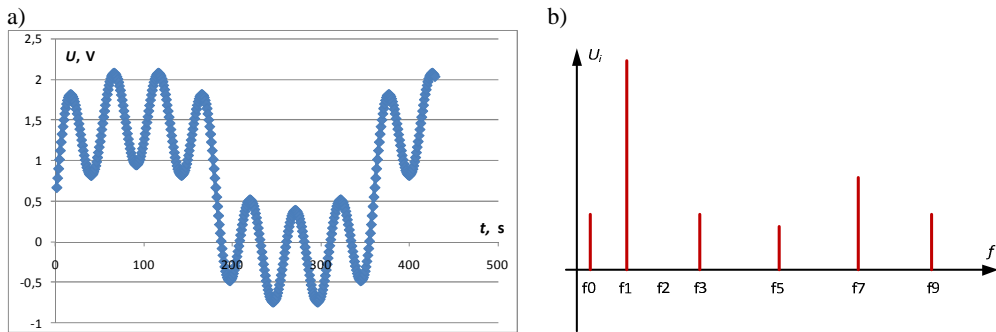
$$U_5 = B_5 = \frac{2 \times U_i}{n \times \pi} \sin(n \times \pi \times t) = \frac{2U_i}{5\pi} \sin\left(\frac{5\pi}{2}t\right)$$



Rys. 1.7. Przebiegi zmienności sygnału podstawowego i kolejnych harmoniczných stanowiące potwierdzenie matematycznej teorii szeregu Fouriera (budowanie sygnału o kształcie fali prostokątnej)

Przebiegi czasowe podstawowej trzeciej i piątej harmonicznej przedstawiono poniżej. Suma tych „pierwszych” harmonicznych pozwala już identyfikować kształt podstawowego przebiegu (rys. 1.7d). Sumowanie następnych harmonicznych doprowadzi do pierwotnego kształtu analizowanego przebiegu. Z analizy przykładu wynika, że amplituda każdej następnej harmonicznej jest mniejsza od poprzedniej, natomiast częstotliwość rośnie wraz ze wzrostem numeru kolejnej harmonicznej.

Uzyskane wartości amplitud poszczególnych składowych szeregu pozwalają wykreślić widmo analizowanego przebiegu, w którym poszczególne prążki są przyporządkowane określonej częstotliwości stanowiącej wielokrotność częstotliwości harmonicznej podstawowej.



Rys. 1.8. Widmo (b) analizowanego przebiegu odkształconego (a), poszczególne prążki rysowane są jako dodatnie, dla celów dydaktycznych

Widmo każdego niesinusoidalnego przebiegu posiada nieskończenie wiele harmonicznych, w których amplituda najczęściej maleje wraz ze wzrostem numeru prążka (częstotliwości). Na rysunku 1.8 powiązано przebieg czasowy sygnału odkształconego wraz z jego widmem częstotliwościowym (każdy prążek odpowiada amplitudzie określonej harmonicznej).

Identyfikacja wielu składowych wskazuje na wartość skuteczną przebiegu odkształconego, która wyraża się wzorem:

$$A = \sqrt{A_0^2 + A_{m1}^2 + A_{m2}^2 + \dots + A_{mn}^2} = \sqrt{A_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn}^2}$$

Należy zatem wnioskować, że będzie ona zawsze większa jak dla przebiegu sinusoidalnego.

Prądy zniekształcone płyną od odbiornika do źródła (systemu energetycznego) i powodują deformację napięcia zasilającego.

Powszechnie przyjętą miarą odkształcenia przebiegów czasowych napięć jest wartość współczynnika THD (total harmonic distortion), określająca względną zawartością w sygnale wyższych harmonicznych. Stopień odkształcenia ocenia się na podstawie współczynnika zniekształceń:

a) dla prądu

$$THDI_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^h I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%$$

b) dla napięcia

$$THDU_{\%} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^h U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

Natomiast w odniesieniu do poszczególnych harmonicznych stosuje się współczynnik udziału n -tej harmonicznej jako iloraz wartości skutecznych harmonicznej n -tego rzędu i harmonicznej podstawowej:

$$HDI_{\%} = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100\% \quad HDU_{\%} = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\%$$

gdzie: U_1 – pierwsza harmoniczna napięcia

I_1 – pierwsza harmoniczna prądu

U_n – n -ta harmoniczna napięcia

I_n – n -ta harmoniczna prądu

h – ostatni rząd harmonicznych przyjęty do obliczeń

Powyżej określonego rzędu harmonicznych (40) amplitudy poszczególnych składowych są bardzo małe, w skutek czego do wyznaczania współczynników THD wystarczy przyjąć wartości amplitud znaczących składowych.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. z dnia 29 maja 2007 r.) dla podmiotów zaliczonych do grupy przyłączeniowej I-II ustala się dopuszczalne względne wartości napięcia wyrażone w procentach składowej podstawowej harmonicznej zgodnie z poniższą tabelą.

Tab. 1. 1. Dopuszczalne wartości harmonicznych wg rozporządzenia Ministra Gospodarki z 4 V 2007r.

Harmoniczne nieparzyste				Harmoniczne parzyste	
Nie będące krotnością 3		będące krotnością 3		Rząd harmonicznej (n)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ($DU_{\%}$)
Rząd harmonicznej (n)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ($U_{\%}$)	Rząd harmonicznej (n)	Wartość względna napięcia w procentach składowej podstawowej ($DU_{\%}$)		
1	2	3	4	5	6
5	2,0 %	3	2,0 %	2	1,5 %
7	2,0 %	9	1,0 %	4	1,0 %
11	1,5 %	15	0,5 %	> 4	0,5 %
13	1,5 %	> 21	0,5 %		
17	1,0 %				
19	1,0 %				
23	0,7 %				
25	0,7 %				

Współczynnik zniekształcenia harmonicznych napięcia (THDU%) obliczony dla harmonicznych do rzędu 40 nie może być większy jak 8 %. Ponieważ powodem zniekształceń napięcia zasilającego są prądy odkształcone, w celu niedopuszczenia przedostawania się wyższych harmonicznych prądu do systemu elektroenergetycznego oraz zmniejszenia zgorzenia pożarowego należy stosować aktywne filtry wyższych harmonicznych.

Oprócz harmonicznych analizowane są interharmoniczne napięcia linii zasilającej. Są to składowe sinusoidalne o częstotliwościach zawartych pomiędzy częstotliwościami składowych harmonicznych. Oznacza to, że częstotliwości składowych interharmonicznych nie są całkowitą krotnością częstotliwości podstawowej harmonicznej ($2/3f$, $1,5f$...). Poziom składowych interharmonicznych w sieci sukcesywnie wzrasta wskutek zwiększającej się liczby zainstalowanych bezpośrednich przemienników częstotliwości i urządzeń energoelektronicznych (przekształtniki matrycowe, sterowniki napięcia przemiennego itp.). Całkowite wyeliminowanie wpływu interharmonicznych na pracę innych urządzeń elektrycznych jest możliwe tylko w przypadku zastosowania filtrów aktywnych bądź układów bezprzerwowego zasilania.

1.3. Uregulowania prawne

Krajowa polityka energetyczna jest zbiorem działań które dotyczą poprawy efektywności energetycznej, wzrostu bezpieczeństwa dostaw paliw i energii, dywersyfikacji struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzanie energetyki jądrowej, rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii, rozwoju konkurencyjnych rynków paliw i energii oraz ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko.

Prawo energetyczne oraz akty wykonawcze do ustawy (tab. 1.2), zawarte w rozporządzeniu ministra gospodarki, określają m.in. szczegółowe warunki standardów jakościowych obsługi odbiorców. Już na etapie wniosku o określenie warunków przyłączenia wnioskodawca ma prawo domagać się indywidualnych standardów jakościowych parametrów energii elektrycznej (zgodnie z rozporządzeniem ministra gospodarki i pracy z 20 grudnia 2004 roku w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, ruchu i eksploatacji tych sieci, dostawca energii zobowiązany jest do zachowania właściwych standardów jakości energii).

Ustawa Prawo energetyczne określa, że minister właściwy do spraw gospodarki określi, w drodze rozporządzenia, szczegółowe warunki funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, biorąc pod uwagę określone w odrębnych przepisach bezpieczeństwo i niezawodne funkcjonowanie tego systemu, równoprawne traktowanie użytkowników systemu elektroenergetycznego oraz wymagania w zakresie ochrony środowiska oraz budowy i eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci (tzw. rozporządzenie systemowe). Ustawa określa także, że minister właściwy do spraw gospodarki, po

zasięgnięciu opinii prezesa URE, określi, w drodze rozporządzenia, szczegółowe zasady kształtowania i kalkulacji taryf dla energii elektrycznej oraz szczegółowe zasady rozliczeń w obrocie energią elektryczną (tzw. rozporządzenie taryfowe).

Tab. 1.2. Wybrane akty prawne odnoszące się do polityki energetycznej i jakości energii

Lp	Nazwa aktu prawnego
1	Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. Dz. U. 1997 nr 54, poz. 348 (z późniejszymi zmianami)
2	Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 25 września 2000 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, obrotu energią elektryczną, świadczenia usług przesyłowych, ruchu sieciowego i eksploatacji sieci oraz standardów jakościowych obsługi odbiorców. Dz.U.2000 nr 85, poz. 957
3	rozporządzenie ministra gospodarki i pracy z dnia 20 grudnia 2004 r. w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Dz.U. 2005 nr 2, poz. 6
4	Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Dz. U. nr 93 poz. 623.
5	Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną. Dz. U. nr 127, poz. 895
6	PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, październik 1998
7	PN-EN 61000-3-2 Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A)
8	PN-EN 61000-4-30:2011 – Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Metody badań i pomiarów – Metody pomiaru jakości energii
9	PN-EN 61000-4-7 Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badań i pomiarów. Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz stosowanych do tego celu przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń
10	PN-EN 60868 Miernik migotania światła. Opis działania i cechy konstrukcyjne

Podstawową i aktualnie obowiązującą w Polsce (i EU) normą z zakresu jakości energii jest PN-EN 50160, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych. Określa ona charakterystyczne parametry, za pomocą których oceniana jest jakość napięcia oraz dopuszczalne zakresy odchyień i deformacji tych parametrów od wartości znamionowych napięcia w złączach sieci rozdzielczych niskiego napięcia (do 1 kV) i średniego napięcia (do 35 kV) w normalnych warunkach pracy. Określenie obowiązujących parametrów jakościowych energii elektrycznej dostarczanej odbiorcom w poszczególnych grupach przyłączeniowych nastąpiło w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki.

Tab. 1.3. Wybrane parametry określające jakość napięcia oraz dopuszczalne odchylenia tych parametrów od wartości znamionowych wg PN-EN-50160

Parametr	Warunki pomiaru i dopuszczalne odchylenia od wartości znamionowej
Częstotliwość	Wartość średnia częstotliwości mierzona w czasie 10s powinna być zawarta w przedziale 50 Hz \pm 1% częstotliwości znamionowej, (49,5–0,5Hz) przez 95% tygodnia oraz 50 Hz +4% i –6% (tj. 47–52Hz) przez pozostałe 5% tygodnia.
Wartość napięcia zasilającego	Znormalizowane napięcie znamionowe U_n w publicznych sieciach rozdzielczych niskiego napięcia powinno wynosić 400/230 V.
Zmiany napięcia zasilającego	W normalnych warunkach pracy, wyłączając przerwy w zasilaniu, w każdym tygodniu, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznego napięcia zasilającego powinna mieścić się w przedziale: $U_n \pm 10\%$.
Szybkie zmiany napięcia	Szybkie zmiany napięcia w normalnych warunkach pracy nie powinny przekraczać 5% U_n oraz dopuszcza się, aby w pewnych okolicznościach zmiany te osiągnęły kilka razy w ciągu dnia wartość do 10% U_n .
Zapady napięcia zasilającego	W normalnych warunkach pracy zapady napięcia przekraczające 10% U_n mogą występować od kilkudziesięciu do tysiąca razy w roku; większość zapadów charakteryzuje się czasem < 1 s i głębokością mniejszą niż 60%.
Krótkie przerwy w zasilaniu (do 3 min.)	W normalnych warunkach pracy liczba krótkich przerw w zasilaniu może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset w ciągu roku; czasy trwania krótkich przerw w zasilaniu przeważnie nie przekraczają 1 sekundy.
Długie przerwy zasilania (dłuższe niż 3 min.)	W normalnych warunkach pracy roczna częstość występowania przerw w zasilaniu trwających dłużej niż 3 minut może dochodzić do 50, w zależności od obszaru; nie dotyczy to wyłączeń planowych.
Przejściowe przepięcia o krótkim czasie trwania	Przepięcia przejściowe są powodowane przez wyładowania atmosferyczne lub procesami łączeniowymi w sieci (w tym działaniem bezpieczników). w sieciach niskiego napięcia właściwie chronionych przepięcia z reguły nie przekraczają 6 kV.
Niesymetria napięcia zasilającego	W normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznego składowej symetrycznej kolejności przeciwnej napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale od 0% do 2% wartości składowej kolejności zgodnej; w instalacjach odbiorców zasilanych jednofazowo lub międzyfazowo dopuszcza się niesymetrię w sieci 3faz. do 3%.
Harmoniczne napięcia zasilającego	W normalnych warunkach pracy, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznego dla każdej harmonicznej napięcia powinno być mniejsze lub równe wartościom podanym w normie, ponadto współczynnik <i>THD</i> napięcia zasilającego, uwzględniający harmoniczne do 40 rzędu, nie powinien przekraczać 8%.

Aby dokładnie określić przyczynę oraz rodzaj zauważonych problemów niezbędne są pomiary analizatorem jakości energii elektrycznej. Pojawienie się na rynku mikroprocesorowej aparatury kontrolno-pomiarowej umożliwiło prowadzenie ciągłych badań jakości energii elektrycznej w dowolnie długim okresie czasu. Nowoczesna

aparatura daje możliwość gromadzenia danych pomiarowych w pamięci wewnętrznej oraz przesyłanie ich do specjalistycznych programów statystycznych, pozwalających na analizę poszczególnych parametrów charakteryzujących jakość energii elektrycznej. Dalsza część ćwiczenia laboratoryjnego zawiera ciąg instrukcji umożliwiających przeprowadzenie podstawowych badań i testów w instalacji energetycznej i instalacji z generatorem wiatrakowym.

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

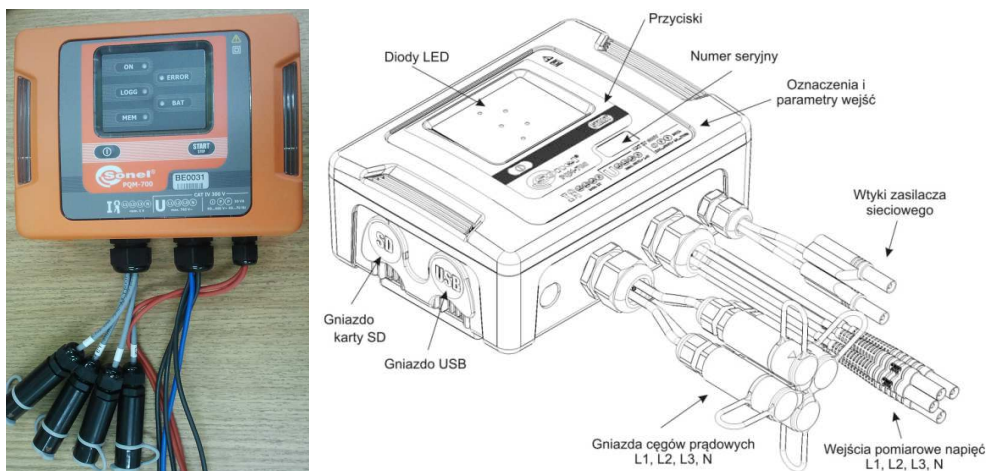
Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi zasadami pomiarów parametrów jakości energii w instalacji elektroenergetycznej i instalacji z generatorem wiatrakowym. Przed badaniami zapoznać się z instrukcją stanowiskową BHP oraz instrukcjami obsługi badanych urządzeń i mierników.

2.1. Identyfikacja środowiska pomiarowego i badanych obiektów

Przed właściwą realizacją badań wykorzystując dostępne mierniki (np. TES-1361C) oraz stacje pogodową dokonać pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia w miejscu wykonywania pomiarów. Udokumentować aparatem cyfrowym dokładne pozycje pomiarowe oraz badane obiekty.

2.2. Konfiguracja przyrządu pomiarowego

Do ćwiczenia będzie wykorzystywane stanowisko laboratoryjne z miernikiem PQM-700. Przyrząd PQM-700 przeznaczony jest do pomiaru, rejestracji i analizy parametrów zasilania. Analizator w pełni spełnia wymogi PN-EN 61000-4-30:2011 klasa S. Miernik wyposażony jest w 4 przewody zakończone wtykami bananowymi, oznaczone L1, L2, L3, N. Zakres napięć mierzonych przez cztery kanały pomiarowe to maksymalnie $\pm 1150V$ i można go zwiększyć stosując dodatkowe zewnętrzne przekładniki napięciowe.



Rys. 2.1. Widok ogólny analizatora PGM700 na wyposażeniu laboratorium

Do pomiaru prądów służą cztery wejścia prądowe, wyprowadzone na krótkich przewodach zakończonych gniazdami cęgów. Można do nich przyłączyć cęgi giętkie F-1, F-2, F-3 o zakresie nominalnym 3000A (różniące się jedynie obwodem cewki) oraz cęgi twarde C-4 (zakres 1000A AC), C-5 (zakres 1000 A AC/DC), C-6 (zakres

10A AC) i C-7 (zakres 100 A AC). Również w przypadku prądów zakres nominalny może zostać zmieniony przy użyciu dodatkowych przekładników – dla przykładu stosując przekładnik 100:1 z cęgami C-4 można mierzyć prądy do 100kA. Przyrząd posiada wymienną kartę pamięci o standardowej pojemności 2GB. Dane z karty można odczytać przy użyciu łącza USB lub za pomocą zewnętrznego czytnika.



Rys. 2.2. Zdjęcie cęgów C-5 oraz cęg giętkich współpracujących z PQM-700

Analizator PQM-700 posiada wewnętrzny zasilacz sieciowy o szerokim zakresie napięć wejściowych 100...460V AC/DC, który ma niezależnie wyprowadzone przewody zakończone wtykami bananowymi. Bezprzerwową pracę w warunkach zaniku napięcia zasilania zapewnia wewnętrzny akumulator litowo-jonowy.

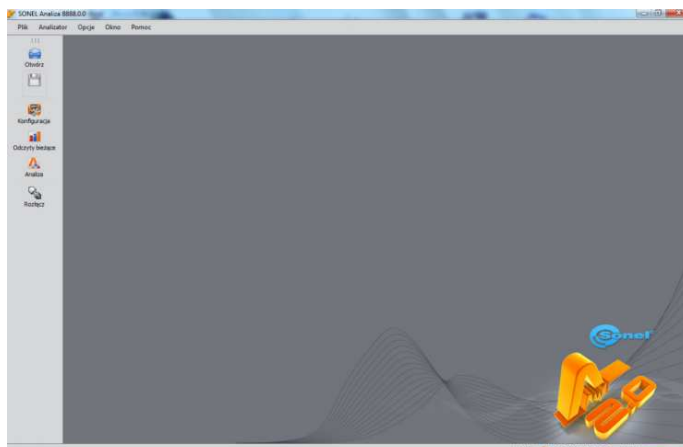
Interfejs użytkownika stanowi 5 diod LED oraz 2 przyciski. Elementem ujawniającym pełne możliwości urządzenia jest dedykowane oprogramowanie „Sonel Analiza 2.0”. Komunikacja z komputerem jest możliwa łączem USB. Analizator umożliwia pomiar i rejestrację następujących parametrów:

- napięcia skuteczne fazowe i międzyfazowe do 690V (szczytowo do 1150V),
- prądy skuteczne do 3000A (szczytowo 10kA) przy użyciu cęgów giętkich (F-1, F-2, F-3), do 1000A (szczytowo do 3600A) z użyciem cęgów twardych C-5, do 10A (szczytowo do 36A),
- współczynniki szczytu prądu i napięcia,
- częstotliwość sieci w zakresie 40Hz...70Hz,
- moce i energie czynne, bierne, pozorne, moc odkształcenia,
- składowe harmoniczne napięć i prądów (do 40-tej),
- współczynnik zniekształceń harmonicznych *THD* dla prądu i napięcia,
- współczynnik mocy, $\cos\varphi$, $\text{tg}\varphi$,
- współczynniki asymetrii sieci trójfazowych i składowe symetryczne,
- wskaźniki migotania światła,
- prąd rozruchu do 60s.

Wybrane parametry są uśredniane w czasie wybranym przez użytkownika i mogą zostać zapisane na karcie pamięci. Oprócz wartości średniej możliwe jest rejestrowanie wartości minimalnej i maksymalnej w czasie trwania uśredniania oraz chwilowej w chwili zapisu rekordu. Rozbudowany jest również blok detekcji zdarzeń. Typowymi zdarzeniami dla napięć są zapad, przepięcie oraz przerwa. Użytkownik nie musi ustawień zdefiniowanych w normie EN 50160 wprowadzać samodzielnie – program pozwala na automatyczną konfigurację przyrządu w tryb pomiaru jakości energii wg EN 50160. Do dyspozycji użytkownika pozostaje tryb własnej konfiguracji – program oferuje w tym względzie pełną elastyczność. Napięcie jest tylko jednym z wielu parametrów, dla którego można zdefiniować progi detekcji zdarzeń. Możliwe jest skonfigurowanie analizatora na wykrycie spadku współczynnika mocy poniżej określonego progu, przekroczenia *THD* powyżej założonego progu i podobnie przekroczenie przez dziewiątą harmoniczną napięcia wartości procentowej ustalonej przez użytkownika. Zdarzenie jest zapisywane razem z czasem wystąpienia. W przypadku zdarzeń dotyczących przekroczenia progów zapadu, przerwy i przepięcia dla napięć, oraz przekroczenia wartości minimalnej i maksymalnej dla prądów można uzupełnić informację o wystąpieniu zdarzenia o oscylogram przebiegów napięć i prądów. Możliwe jest zapisanie 2 okresów przed zdarzeniem i 4 po nim.

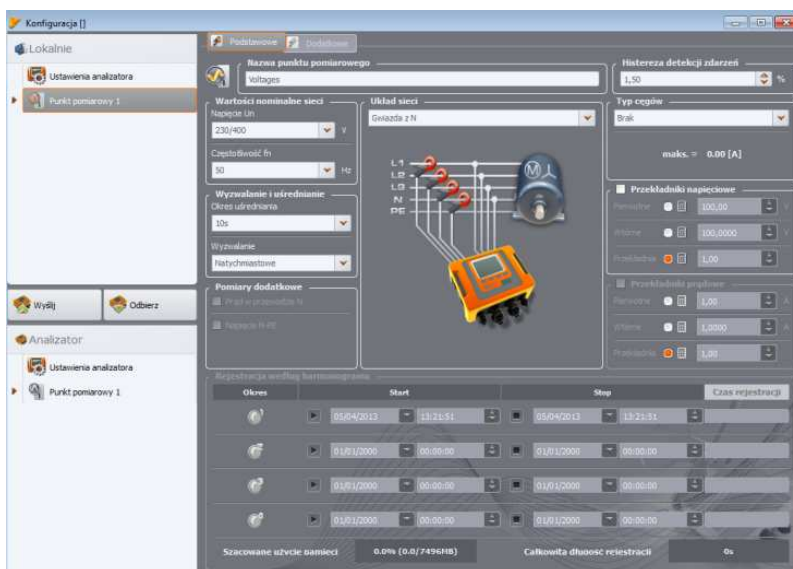
Program „Sonel Analiza 2.0” jest aplikacją niezbędną do pracy z analizatorem PQM-700. Umożliwia on konfigurację analizatora, odczyt/kasowanie danych z rejestratora, podgląd sieci w czasie rzeczywistym, przedstawianie danych w formie tabel i wykresów. Po uruchomieniu programu, pojawia się okno główne jak na rysunku 2.3. Poszczególne ikony mają następujące znaczenia:

- *Otwórz* – w zależności od kontekstu umożliwia wczytanie z dysku konfiguracji analizatora, zapisanej analizy lub zapisanej rejestracji,
- *Zapisz* – w zależności od kontekstu umożliwia zapisanie na dysku konfiguracji analizatora (podczas edycji konfiguracji), zapis surowych danych lub plików bieżącej analizy,
- *Konfiguracja* – moduł konfiguracji analizatora,
- *Odczyty bieżące* – tryb odczytu wartości bieżących w czasie rzeczywistym,
- *Analiza* – moduł analizy danych bezpośrednio z analizatora lub z karty pamięci,
- *Rozłącz* – kończy sesję komunikacyjną z analizatorem.



Rys. 2.3. Okno główne (startowe) programu Sonel Analiza

Po nawiązaniu połączenia analizatora z komputerem PC konieczne jest przeprowadzenie konfiguracji. W tym celu należy wybrać z menu głównego opcję *Konfiguracja*. W następstwie otworzy się okno do konfiguracji pomiarów jak na rysunku 2.4. W tym miejscu użytkownik decyduje, jakie parametry będą rejestrowane przez analizator, jaki jest typ sieci oraz wartości nominalne parametrów. Lewa część ekranu jest podzielona na dwie części: *Lokalnie* oraz *Analizator*. Górna część (*Lokalnie*) służy do modyfikacji parametrów przez użytkownika, dolna (*Analizator*) przechowuje aktualne ustawienia analizatora i służy tylko do odczytu.



Rys. 2.4. Zrzut ekranowy prezentujący konfigurację pomiaru

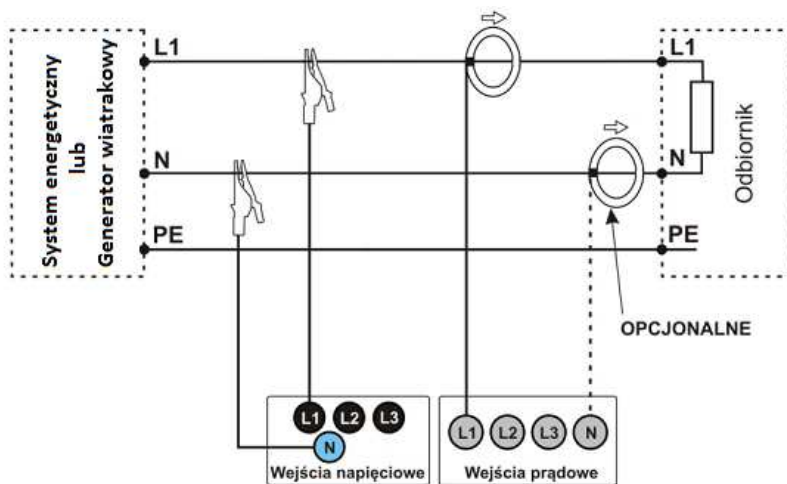
2.3. Układy pomiarowe

Analizator można podłączyć bezpośrednio i pośrednio do następujących typów sieci:

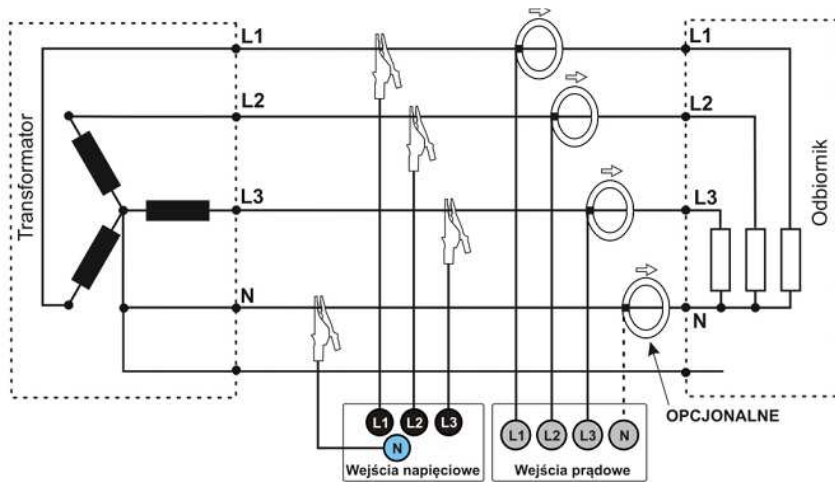
- jednofazowa,
- dwufazowa (z dzielonym uzwojeniem transformatora),
- trójfazowa typu gwiazda z przewodem neutralnym,
- trójfazowa typu gwiazda bez przewodu neutralnego,
- trójfazowa typu trójkąt.

W układach z obecnym przewodem neutralnym można dodatkowo włączyć pomiar prądu w tym przewodzie po podłączeniu dodatkowego egzemplarza cęgów w kanale I_N .

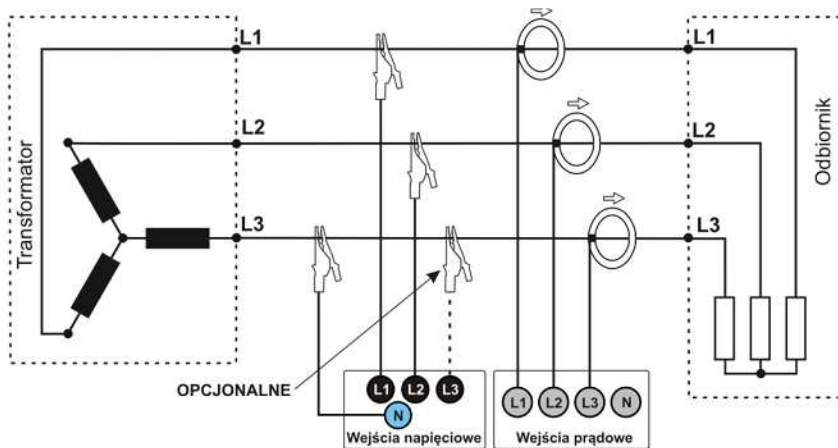
Przy tworzeniu stanowiska (punktu) pomiarowego należy zwrócić uwagę na kierunek założenia cęgów (giętkich i twardych). Cęgi należy tak założyć, aby strzałka umieszczona na cęgach była skierowana w stronę obciążenia. Weryfikację można przeprowadzić sprawdzając pomiar mocy czynnej – w większości typów odbiorników pasywnych moc czynna ma znak dodatni.



Rys. 2.5. Schemat połączeń – układ pomiarowy jednofazowy



Rys. 2.6. Schemat połączeń – układ trójfazowy gwiazda z przewodem neutralnym



Rys. 2.7. Schemat połączeń – układ trójfazowy gwiazda bez przewodu neutralnego

W uzgodnieniu z prowadzącym skonfigurować zakładki programu i dokonać rejestracji parametrów napięć, prądów, mocy i energii oraz zawartości harmoniczných. Jako odbiornika kolejno użyć:

- odbiornika rezystancyjnego,
- żarówek klasycznych oraz energooszczędnych,
- zasilacza impulsowego.

W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki wszystkich pomiarów i obliczeń oraz zdjęcia robione w trakcie trwania badań. We wnioskach odnieść się do dopuszczalnych poziomów odchylenia zawartych w krajowych przepisach.

Ćwiczenie 3

Analiza pracy przetwornic DC/AC w instalacjach z OZE

1.1 Wprowadzenie

Od końca ubiegłego wieku obserwuje się ciągły wzrost zainteresowania małymi, autonomicznymi źródłami energii (szczególnie odnawialnej), a więc tzw. generacją rozproszoną. Poprzednio źródła były głównie wykorzystywane jako zasilanie awaryjne w energię elektryczną, na wypadek przerw w zasilaniu oraz do zasilania w energię niewielkich, autonomicznych odbiorców, niemających dostępu do publicznej sieci energetycznej. Obecnie coraz częściej zaczynają się pojawiać źródła – generacje rozproszone powiązane z siecią dystrybucyjną i zasilające tę sieć na przykład w warunkach deficytu mocy.

Na rozwój generacji rozproszonych, tj. źródeł o średniej i małej mocy, miał wpływ szereg czynników, z których najważniejsze to:

- 1) pojawienie się nowych generacji technologii wytwarzania energii, o wysokiej sprawności, mniejszych nakładach inwestycyjnych, krótkich cyklach budowy i niskich kosztach eksploatacji zwłaszcza w dziedzinie odnawialnych źródeł energii (OZE), które stanowią istotny składnik generacji rozproszonej,
- 2) urynkowanie sektora energetyki, umożliwiające budowę lokalnych źródeł, zlokalizowanych blisko odbiorców, co pozwala uniknąć części kosztów przesyłu i dystrybucji i bazujących często na miejscowych źródłach energii np. energii wodnej.
- 3) wspomaganie inwestorów w formie grantów, dotacji i ulg podatkowych dla inwestycji w OZE oraz wymuszenia zakupu zielonej energii przez przedsiębiorstwa energetyki zawodowej,
- 4) konieczność poprawy bezpieczeństwa energetycznej, dzięki zwiększeniu pewności zasilania, zmniejszeniu strat sieciowych, zmniejszeniu obciążenia szczytowego oraz, zmniejszeniu uzależnienia od zewnętrznych dostaw nośników energii takich, jak ropa czy gaz.

W skali zarządzania zasobami naturalnymi najłatwiejszymi pod względem dostępności oraz możliwości technologicznych jest wykorzystanie energii wiatru i słońca. Te zasoby mogą być wykorzystywane niemal na całej planecie. Dlatego ich przemiana na energię elektryczną jest głównym czynnikiem wzrostu zainteresowania technologią OZE do wykorzystywania w gospodarstwach domowych.

Panele fotowoltaiczne, potocznie nazywane bateriami słonecznymi, służą do wytwarzania energii elektrycznej. Obecnie najbardziej rozpowszechnioną na rynku technologią fotowoltaiczną są ogniwa oparte na złączu p-n, wykonane z czystego krzemu

krystalicznego. W porównaniu do innych, nowszych technologii foto-woltaicznych, charakteryzują się dużą sprawnością, w zakresie 17–22%. Ogniwa te charakteryzują się wysokimi kosztami produkcji wynikającymi z wysokiej ceny krzemu oraz niską automatyzacją procesu produkcji. Do produkcji ogniw fotowoltaicznych wykorzystywany jest krzem monokrystaliczny i polikrystaliczny.

Zasady ekspozycji paneli fotowoltaicznych, w celu zapewnienia optymalnego poziomu absorpcji promieni słonecznych do produkcji energii elektrycznej, są identyczne z zaleceniami dla kolektorów słonecznych i są mocno uzależnione od analiz usłonecznienia danego obszaru.

Pomimo znaczącego potencjału fotowoltaiki, rozwiązania te nie są stosowane zbyt często ze względu na wysokie koszty paneli fotowoltaicznych oraz ich niewielką efektywność. Zastosowanie fotowoltaiki ogranicza się najczęściej do zasilania urządzeń o niskim zapotrzebowaniu na energię, gdzie podłączenie zasilania sieciowego jest nieuzasadnione ekonomicznie. Klasycznymi już przykładami wykorzystania paneli fotowoltaicznych jest zasilanie znaków drogowych, reklam, automatów parkingowych. Całość instalacji fotowoltaicznej nie jest skomplikowanym układem. Podobnie jak w przypadku wszystkich innych technologii należy jednak profesjonalnie zaprojektować instalację, uzależniając ją od zapotrzebowania na energię, adekwatną moc paneli oraz liczbę i pojemność akumulatorów magazynujących energię. Typowa instalacja fotowoltaiczna składa się z następujących elementów:

- panelu fotowoltaicznego;
- regulatora ładowania akumulatorów – urządzenia kontrolującego stan ładowania akumulatorów, uniemożliwiające ich nadmierne rozładowanie lub przeładowanie (stosując odpowiedni rodzaj regulatora, możliwa jest współpraca paneli fotowoltaicznych i małej turbiny wiatrowej);
- akumulatora lub baterii akumulatorów;
- inwertera (przetwornicy), czyli przekształtnika napięcia, umożliwiającego zasilanie energią wytworzoną w panelu fotowoltaicznym oraz magazynowaną w akumulatorach urządzeń zasilanych prądem zmiennym o napięciu 230 V.

Przy wykorzystaniu paneli fotowoltaicznych możliwe jest również bezpośrednie zasilanie wybranego urządzenia lub obwodu bez konieczności magazynowania energii. Pomimo niewielkiej sprawności paneli fotowoltaicznych, w porównaniu do innych urządzeń wytwórczych, prawidłowo oszacowany układ w połączeniu z dobrej jakości urządzeniami i dobrym wykonaniem technicznym jest w stanie wygenerować ilość energii wystarczającą do efektywnego zasilania kilku urządzeń. Warunkiem koniecznym są jednak sprzyjające warunki pogodowe.

Turbiny wiatrowe, ze względu na moc nominalną, a co za tym idzie gabaryty wymuszone wielkością zastosowanych urządzeń i elementów mocujących i napędowych, klasyfikowane są jako:

- duże elektrownie wiatrowe o mocy przekraczającej 100 kW, projektowane są głównie pod kątem współpracy z siecią elektroenergetyczną.

- małe turbiny wiatrowe o mocy od 100 W do 50 kW, turbiny tej mocy są w stanie zapewnić energią elektryczną pojedyncze gospodarstwo domowe,
- mikroelektrownie o mocy do 100 W, stosowane do zasilania akumulatorów stanowiących element wydzielonych instalacji elektrycznych (generowana energia elektryczna wystarczy np. do zasilania jednej - kilku żarówek),

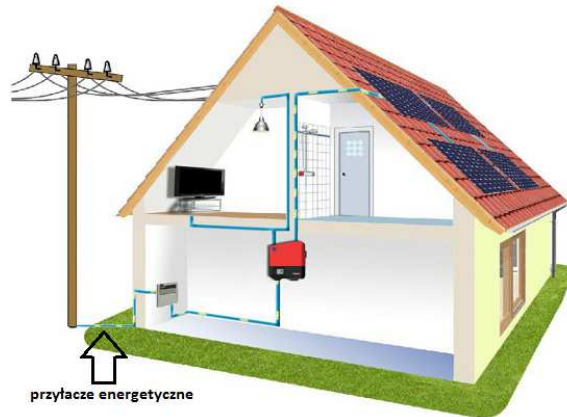
W zależności od przeznaczenia, w małych turbinach wiatrowych stosuje się prądnice prądu stałego lub trójfazowe-asynchroniczne. W zależności od mocy turbiny, celu zastosowania i profilu zużycia energii elektrycznej turbina wiatrowa z generatorem prądu zmiennego może pracować zasilając na bieżąco urządzenia gospodarstwa domowego albo częściowo ładując akumulatory (przy zastosowaniu inwertera – przekształtnika napięcia). Podobnie turbina wiatrowa z generatorem prądu stałego może bezpośrednio i na bieżąco zasilac wydzielone obwody pracujące na niskim napięciu i prądzie stałym lub zasilac akumulatory (poprzez regulator ładowania). W zależności od profilu zapotrzebowania na energię, stosując przekształtnik napięcia, prąd stały z akumulatorów może zostać przekształcony w prąd zmienny i wykorzystany do zasilania urządzeń gospodarstwa domowego. Należy zaznaczyć, że transformacja prądu stałego na zmienny i odwrotnie wiąże się ze stratami energii i obniżeniem efektywności pracy całego układu. Zaawansowane modele regulatorów ładowania pozwalają na współpracę w układzie hybrydowym kilku urządzeń wytwarzających energię elektryczną, stąd też mikro/mała turbina wiatrowa może współpracować w jednym układzie z panelami fotowoltaicznymi.

Instalacje wykorzystujące źródła odnawialne do produkcji energii elektrycznej mogą pracować w dwóch kategoriach. Jednym jest praca wyspowa – autonomiczna, gdzie odbiorniki są zasilane tylko z instalacji OZE oraz praca instalacji OZE we współpracy z systemem energetycznym.



Rys. 1.1. Przykład instalacji wyspowej

W instalacji wyspowej (off grid) energia elektryczna ze źródeł odnawialnych (panele, wiatraki) jest zamieniana przez układ inwertera na prąd zmienny o odpowiednich parametrach akceptowanych przez urządzenia domowe. Nadwyżki energii poprzez układy automatycznej regulacji są wykorzystywane do ładowania zasobników energii (akumulatorów) w celu późniejszego jej wykorzystania (np. noc).



Rys. 1.2. Przykład instalacji podłączonej do sieci

W instalacji podłączonej do systemu energetycznego energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych lub generatora wiatrakowego jest zamieniana przez inwerter na prąd zmienny o odpowiednich parametrach i następnie wykorzystywana na potrzeby pracy urządzeń domowych. Nadwyżki energii (o ile jest na to odpowiednia концесja i згода zakładu energetycznego) mogą być sprzedawane do sieci energetycznej.

Opisane technologie energetyczne, wykorzystujące odnawialne źródła energii, umożliwiają całkowite uniezależnienie się od dostaw energii elektrycznej lub mogą zostać wykorzystane jako dodatkowe źródło wspomagające. Warunkiem jest zintegrowanie i dopasowanie instalacji z odnawialnymi źródłami do wymogów publicznej sieci energetycznej. Z technicznego punktu widzenia instalacje mikro i małej mocy mogą wprowadzać wytworzoną energię do sieci elektroenergetycznej. W praktyce do współpracy z siecią stosuje się jednak generatory OZE o większej mocy, mogące zapewnić większe zyski ze sprzedaży energii. Wynika to z faktu, iż sprzedaż energii jest działalnością концесjonowaną i pociąga za sobą dość kosztowny proces przygotowania inwestycji i spełniania bardzo restrykcyjnych parametrów jakości energii i zagwarantowania jej dostaw do systemu energetycznego.

1.2. Przetwornice (inwertery)

Przetwornice prądu stałego zaliczają się do elektronicznych układów przekształtnikowych i stanowią zasadniczą rodzinę układów w klasie przekształtników DC/DC i DC/AC. Wielkością faktycznie przetwarzaną nie musi być jednak prąd. Wręcz prze-

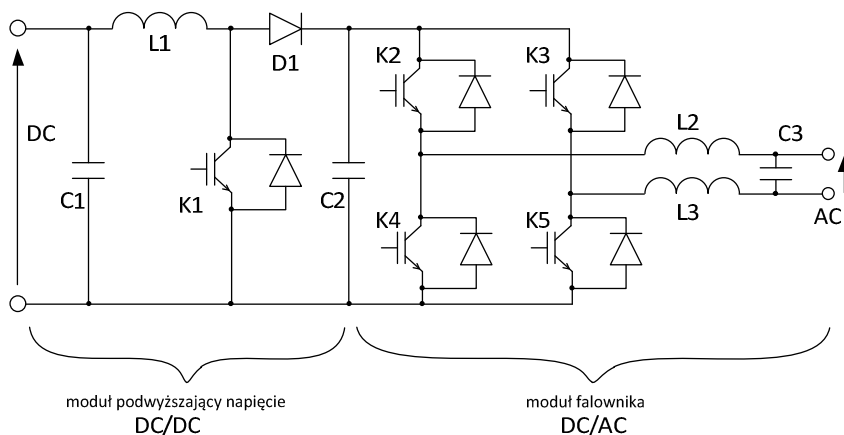
ciwnie, w większości przypadków praktycznych przetwornice są zasilane ze źródła napięcia i ich wyjście ma również charakter źródła napięcia.

Przetwornice DC/AC (inwertery) przetwarzają napięcie stałe zazwyczaj z poziomów 12V lub 24V na napięcie przemienne 230VAC o kształcie sinusoidalnym lub zbliżonym. Posiadają izolacje galwaniczną pomiędzy wejściem, a wyjściem. Bardzo często są wyposażone w zabezpieczenia przeciwzwarciowe, przeciążeniowe, przed odwrotnym podłączeniem zasilania (np. akumulatorów). Stosowane są do bezpośredniego zasilania odbiorników małych mocy (do kilkuset watów) np. RTV, sprzętu komputerowego, ładowarek, drobnego sprzętu AGD, małych silników wiatraków, kompresorów lub pomp. Typowe rozwiązania są dedykowane do samochodów lub układów współpracujących z instalacjami OZE. Przetwornice energoelektroniczne charakteryzują się wysoką sprawnością i małymi gabarytami. Najczęściej budowane są w sposób modułowy (rys. 1.3), a zwiększenie mocy obciążenia realizowane jest poprzez zastosowanie metalowej (aluminiowej) obudowy będącej radiatorem tranzystorowych kluczy.



Rys. 1.3. Typowy wygląd przetwornicy DC/AC o parametrach wyjściowych napięcia 230V, 50Hz

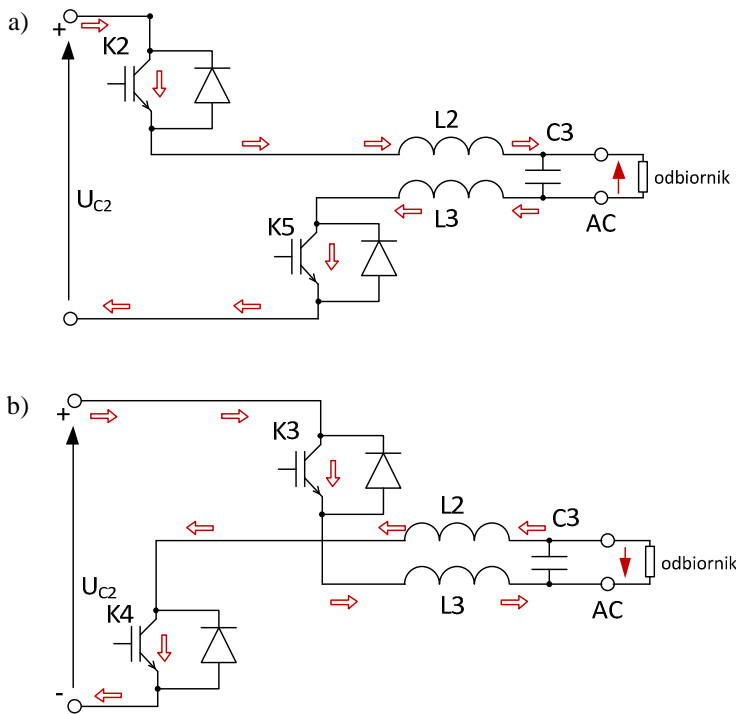
W strukturze przetwornicy można rozdzielić dwa obwody. Pierwszy, to układ wejściowy, którego zadaniem jest dopasowanie napięcia stałego do wymaganych parametrów przez drugi obwód, wyjściowy (DC/AC), który jest odpowiedzialny za zmienne napięcie wyjściowe. W zależności od napięcia wejściowego pierwszy człon może być układem DC/DC lub AC/DC. W przypadku stałego napięcia w obwodzie zastosowany jest układ energoelektroniczny, który pracując impulsowo kształtuje napięcie podawane dalej na falownik DC/AC (szczegółowy opis tego typu przetwornicy opisano w kolejnym akapicie). W przypadku napięcia przemiennego na wejściu jest wykorzystywany transformator, który podwyższa napięcie do założonego poziomu, następnie wykorzystywany jest moduł prostowniczy, który zmienne napięcie przekształca na stałe podawane dalej na falownik.



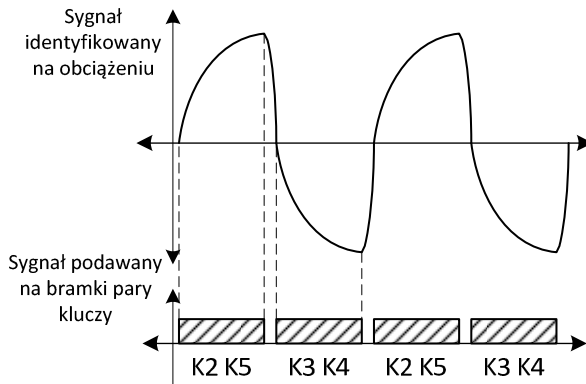
Rys. 1.4. Ogólny schemat ideowy przetwornicy

Analizę działania klasycznej przetwornicy należy rozdzielić na dwie części, wyróżniając tym samym dwa moduły – moduł podwyższający napięcie DC/DC oraz moduł DC/AC. Działanie pierwszego modułu DC/DC, czyli przetwornicy impulsowej podwyższającej napięcie, opiera się na dwóch stanach pracy klucza sterowanego K1. Na bramkę elementu energoelektronicznego (tranzystor) podawany jest sygnał prostokątny, który dla poziomu 0 zamyka klucz tranzystorowy a dla stanu wysokiego klucz otwiera. W stanie gdy klucz tranzystorowy jest zamknięty cewka L1 gromadzi energię, a kondensator C2 rozładowuje się oddając energię do obciążenia – modułu DC/AC. W stanie gdy klucz tranzystorowy jest otwarty, energia zgromadzona w cewce L1 przekazywana jest przed diodę D1 do kondensatora C2.

Napięcie stale na kondensatorze C2 stanowi jednocześnie napięcie wejściowe układu falownika. Falownik jest urządzeniem energoelektronicznym służącym do zamiany napięcia stałego na przemiennie o regulowanej częstotliwości. W klasycznym rozwiązaniu jest to falownik napięcia. Przebiegi wyjściowe falowników zależą od sposobu sterowania kluczy. Stosując do sterowania kluczy metodę modulacji szerokości impulsów lub sterowanie wektorowe otrzymuje się na wyjściu falownika napięcie przemiennie, sinusoidalne. Przy zastosowaniu prostszych metod sterowania, tj. sterowania symetrycznego, na wyjściu falownika uzyskuje się sygnał napięciowy o kształcie prostokątnym. Zasadę działania jednofazowego mostkowego falownika napięcia zobrazowano na rysunkach 1.5 i 1.6.



Rys. 1.5. Zasada działania jednofazowego mostkowego falownika napięcia, a) praca falownika przy pracującej parze kluczy K2 i K5, b) praca falownika przy pracującej parze kluczy K3 i K4



Rys. 1.6. Przebieg sygnału na obciążeniu falownika z zaznaczonymi przedziałami przewodzenia odpowiednich par kluczy

W momencie podania sygnału wysokiego na bramki kluczy K2 i K5 następuje ich otwarcie i tworzy się zamknięty obwód. Energia zgromadzona w kondensatorze C2

jest przekazywana do obciążenia – odbiornika (drogę prądu wskazują strzałki na schemacie). Zakończenie podawania sygnału wysokiego na klucze powoduje ich wyłączenie, a więc przerwę w obwodzie, wówczas podtrzymanie napięcia wyjściowego zapewnia kondensator C3. Następuje rozładowanie energii w nim zgromadzonej i jednocześnie następuje podanie stanu wysokiego tym razem na drugą parę kluczy - K3 i K4. Proces się powtarza, z tym że jego biegunowość jest przeciwna na obciążeniu (rys. 1.5b). Zmieniając czas przewodzenia poszczególnych par kluczy tranzystorowych reguluje się częstotliwość napięcia wyjściowego.

Istnieją różne rozwiązania urządzeń przekształcających energię na napięcie sinusoidalne. Omówiona struktura to podstawowe rozwiązanie. Istnieje wiele konstrukcji posiadających dodatkowe moduły, które kształtują dowolnie przebiegi sygnału wyjściowego oraz filtrują zakłócenia.

Większość dostępnych rozwiązań przetwornic wytwarza na wyjściu tzw. sinusoidę modyfikowaną. Jest to napięcie przemienne o przebiegu prostokątnym, którego wartość skuteczna jest identyczna, jak wartość skuteczna przebiegu sinusoidalnego występującego w sieci energetycznej. Dzięki zastosowaniu takiej metody generowania napięcia, możliwe jest znaczne ograniczenie ceny i zwiększenie bezawaryjności całego urządzenia. Niestety tworzona lokalna sieć nie spełnia wówczas wymagań jakościowych energii elektrycznej i **ABSOLUTNIE NIE MOŻNA** wyjścia przetwornicy 230AC podłączyć do powszechnej sieci energetycznej. Ze względów bezpieczeństwa niedopuszczalne są również łączenia szeregowo i równoległe przetwornic, nawet tego samego typu.

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z podstawowymi parametrami i zasadą działania układów falownikowych, w tym przetwornicy DC/AC, wykorzystywanymi w instalacjach elektroenergetycznych powiązanych z generatorami OZE.

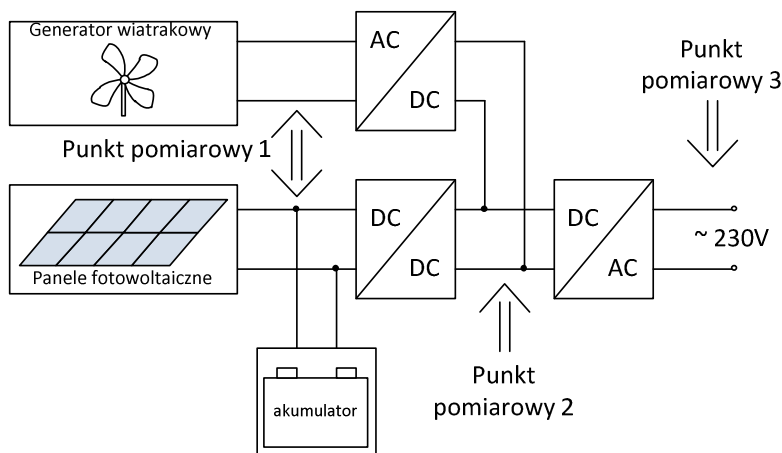
2.1. Identyfikacja środowiska pomiarowego i badanych obiektów

Przed właściwą realizacją badań studenci powinni wykorzystując miernik TES-1361C oraz stację pogodową dokonać pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia w miejscu wykonywania pomiarów. Pomiarów wykonać trzykrotnie, na początku zajęć, w połowie i pod koniec. W sprawozdaniu zamieścić wartości średnie. Udokumentować aparatem cyfrowym pozycje pomiarowe oraz badane obiekty.

2.2. Wyznaczenie podstawowych parametrów napięcia w instalacji z inwerterem

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie przebiegów czasowych prądu i napięcia oraz określenie stabilizacji napięcia wyjściowego. Identyfikacja parametrów instalacji wykorzystującej układy energoelektroniczne realizowana jest w trzech punktach pomiarowych. Pierwszy punkt charakteryzuje bezpośrednią energię (wyjście z generatora wiatrakowego lub wyjście z panelu fotowoltaicznego, wyjście zasobnika energii-akumulatora). Drugi punkt wynika z zastosowania pośrednich modułów dopasowujących generowane napięcie do parametrów wejściowych inwertera DC/AC. Trzeci punkt pomiarowy to moduł końcowy określający napięcie wyjściowe.

Wykorzystując woltomierze wartości średniej i skutecznej oraz oscyloskop zmierzyć wartości napięcia oraz zidentyfikować kształt sygnału. Zmierzone wartości zamieścić w sprawozdaniu. Układy instalacji i punkty pomiarowe zatwierdza prowadzący. Przy pomiarach napięcia przemiennego o wartościach zbliżonych z wartościami napięcia sieciowego należy zachować szczególną uwagę.



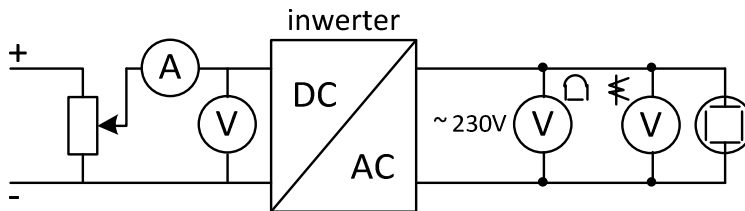
Rys. 2.1. Schemat blokowy instalacji z inwerterem (z zaznaczonymi punktami pomiarowymi)

2.3. Pomiar podstawowych parametrów napięcia wyjściowego inwertera

Dla kilku różnych stanów napięcia wejściowego należy zarejestrować przebiegi oraz dokonać pomiarów:

- wartości skutecznej napięcia wyjściowego,
- symetrii względem zera napięcia wyjściowego (wartość średnia napięcia),
- częstotliwości napięcia wyjściowego.

Zebrane wartości pomiarowe należy zestawić w tabeli 2.1.



Rys. 2.2. Schemat pomiarowy do badania parametrów napięcia

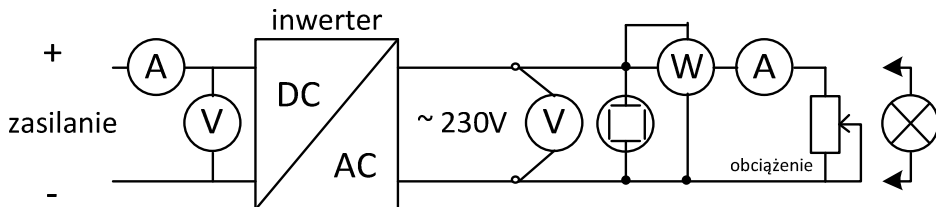
Tab. 2.1. Tabela wartości pomiarowych

Lp.	U_{wej}	I_{wej}	$U_{wy\ \text{średnie}}$	$U_{wy\ \text{skuteczne}}$	f
1					
2					

Do zebrania wartości częstotliwości oraz kształtu napięcia należy wykorzystać oscyloskop cyfrowy. Uzyskane wartości pomiarowe należy zapisać na nośniku danych i wykorzystać w sprawozdaniu. Podstawowego przeszkolenia w zakresie obsługi oscyloskopu dokona prowadzący zajęcia.

2.4. Badanie wpływu typu obciążenia i jego zmian wartości na pracę przetwornicy

Zasilić inwerter napięciem znamionowym 12V. Zmierzyć wartości prądów i napięć w obwodzie przy różnych typach obciążenia (żarówka energooszczędna, żarnikowe, silnik, rezystor). Dla zmiennych wartości rezystancji określić charakterystykę roboczą inwertera.



Rys. 2.3. Schemat stanowiska pomiarowego do wyznaczania charakterystyki przetwornicy DC/AC

W czasie przeprowadzania pomiarów nie należy doprowadzać do pełnego zwarcia wyjścia inwertera. Wartości pomiarowe zestawień w tabeli. Wykreślić charakterystykę roboczą $U_{wy}=f(U_{we})$

Tab. 2.2. Tabela wartości pomiarowych

<i>Lp.</i>	U_{wej}	I_{wej}	P_{wej}	U_{wyj}	I_{wyj}	P_{wyj}	f	η
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki wszystkich pomiarów i obliczeń oraz zdjęcia robione w trakcie trwania badań. Zamieścić oscylogramy z realizowanych badań.

Ćwiczenie 4

Badanie zaburzeń przewodzonych w zakresie częstotliwości 0,15÷30 MHz

1.1 Wprowadzenie

Zgodnie z obowiązującymi w naszym kraju przepisami, wszyscy producenci sprzętu elektrycznego i elektronicznego muszą przestrzegać wymagań zdefiniowanych w dyrektywach Unii Europejskiej w tym: dyrektywie maszynowej, niskonapięciowej oraz w dyrektywie kompatybilności elektromagnetycznej. Zgodnie z dyrektywą kompatybilności elektromagnetycznej urządzenie powinno spełniać wymagania zawarte we właściwym dla niego zestawie norm (normy wyrobu, rodziny wyrobów lub normy ogólne). Istnieją dwa aspekty oceny wyrobu. Pierwszym rodzajem badań są pomiary emisji zaburzeń. Dają one wiedzę na temat, czy urządzenie nie spowoduje zakłóceń w pracy innych urządzeń. Drugim rodzajem badań są badania odporności urządzenia na zaburzenia. Pomiary wykonuje się odrębnie dla każdego rodzaju zaburzenia w ściśle określonych, powtarzalnych, znormalizowanych warunkach (środowisko laboratoryjne). W praktyce często bywa to niewystarczające, gdyż w rzeczywistych warunkach pracy może wystąpić wiele różnych zaburzeń jednocześnie, o wyższych poziomach.

Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) oznacza zdolność urządzenia do zadawalającego działania w środowisku elektromagnetycznym, bez powodowania nadmiernych zaburzeń elektromagnetycznych w stosunku do innych urządzeń działających w tym środowisku. Aby urządzenie było kompatybilne elektromagnetycznie, musi spełniać następujące warunki:

- musi być wystarczająco odporne na zakłócenia emitowane przez inne urządzenia,
- nie może zakłócać pracy innych urządzeń,
- nie może zakłócać się samo (kompatybilność wewnętrzna).

Analizowana w kompatybilności elektromagnetycznej emisja elektromagnetyczna to zjawisko generowania i propagowania energii elektromagnetycznej. Wyróżniana jest emisja przewodzona i promieniowana. Obydwa typy są ze sobą związane bowiem wokół przewodnika z określonym natężeniem prądu wykrywane jest pole magnetyczne, wokół punktu o pewnym potencjale – pole elektryczne.

Generowanie i rozprzestrzenianie zaburzeń przewodzonych w widmie częstotliwości jest uzależnione od struktury i parametrów elektrycznych urządzenia w zakresie dużych częstotliwości oraz od impedancji obciążającej źródło zaburzeń.

Ze względu na formę rozprzestrzeniania się zakłóceń przewodzonych wyróżniane są trzy rodzaje zakłóceń: niesymetryczne, symetryczne i wspólne. Wszystkie zaburzenia można opisywać bądź w dziedzinie czasu, np. $U_z(t)$, bądź w dziedzinie częstotliwości, np. $U_z(f)$; informacje zawarte w obu formach opisu są sobie równoważne. Poziom zakłóceń określa się w jednostkach bezwzględnych (μV , μA , $\mu\text{V/m}$, pW itp.) lub w jednostkach wyrażanych logarytmem stosunku dwóch wartości tej samej wielkości, czyli w decybelach.

Przykładem zaburzeń o charakterze przewodzonym są zakłócenia radioelektryczne obserwowane w instalacjach elektroenergetycznych. W przypadku domowej instalacji podłączone do niej urządzenia AGD/RTV/IT takie, jak np. sprzęt z silnikami komutatorowymi (odkurzacze, wiertarki itp.), półprzewodnikowe regulatory oświetlenia, urządzenia wyposażone w przetwornice impulsowe (sprzęt komputerowy, ładowarki) mogą zakłócać pracę innych urządzeń zasilanych z tej samej sieci energoelektrycznej. Często takie zaburzenia są obserwowane poprzez niepoprawną pracę odbiorników radiowych lub telewizyjnych. Inną formę rozprzestrzeniania zaburzeń można zidentyfikować w instalacjach, w których prowadzi się w tych samych korytkach instalacyjnych przewody energetyczne (w których płyną prądy o dużych natężeniach) oraz przewody kontroli i sterowania. Pojawiające się stany nieustalone i przepięcia towarzyszące np. włączaniu i wyłączaniu obciążeń dużej mocy, mogą na skutek sprzężeń indukcyjnych i pojemnościowych powodować zaburzenia w blisko zlokalizowanych przewodach sterowania i kontroli.

1.2. System pomiarowy w zakresie 150 kHz – 30 MHz

Pomiary zakłóceń przewodzonych przeprowadza się zarówno w obwodach zasilających jak i sygnałowych. Pomiar zaburzenia sprowadza się do określenia napięcia U_z występującego na wejściu miernika zakłóceń.

Normy kompatybilności elektromagnetycznej z reguły formułują metody badawcze przewidziane do zastosowania w warunkach laboratoryjnych, z kontrolowanymi warunkami środowiskowymi dającymi gwarancję powtarzalności i porównywalności wyników. Stanowiska pomiarowe do analizy zakłóceń przewodzonych nie wymagają lokalizacji w pomieszczeniu ekranowym, choć jest ona zalecana. W celu ustabilizowania warunków pomiaru na każdym stanowisku pomiarowym, bez względu na to, czy badany obiekt jest uziemiany czy też nie, stosuje się płaszczyznę odniesienia. Stanowi ją płyta metalowa o wymiarach 2×2 m umieszczona w odległości nie mniejszej niż 0,8 m od wszelkich metalowych powierzchni niebędących częścią mierzzonego zestawu. W pomiarach wykorzystywany jest miernik zakłóceń (zwany też odbiornikiem pomiarowym) oraz dodatkowe urządzenia takie jak sieci sztuczne, sondy napięciowe lub prądowe.

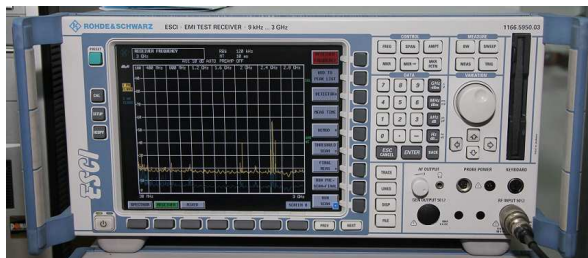
W praktyce, przy badaniach sprzętu przeznaczonego do pracy w środowiskach specjalnych, często nie jest możliwe spełnienie wszystkich wymagań norm w zakresie stanowisk i metod badawczych, ze względu na duże wymiary urządzenia oraz warunki jego pracy i zasilania. W takiej sytuacji wykonuje się badania urządzenia in

situ, to jest w miejscu produkcji lub zainstalowania. Główną zaletą pomiarów in situ jest sprawdzenie, jak urządzenie może zachowywać się w rzeczywistych warunkach pracy. Przykładem takiego postępowania mogą być instalacje farmy wiatrowej czy wodnej.

Warunki in situ są mniej powtarzalne, lecz niezbędne do oceny rzeczywistych zagrożeń w środowisku. Podczas badań w miejscu produkcji lub przeznaczenia wykonuje się możliwie szeroki wachlarz badań, metodyką najbardziej zbliżoną do warunków znormalizowanych, pamiętając o dokładnej dokumentacji wszelkich działań.

Odbiornik pomiarowy

Miernik zakłóceń jest specjalnym superheterodynowym mikro-woltomierzem selektywnym. Dla celów analizy odpowiedzi na impulsowe, sinusoidalne i szumowe wymuszenia, układ miernika można uważać za połączenie trzech członów funkcjonalnych. Człon selektywny obejmuje cały tor wielkiej i pośredniej częstotliwości, człon detekcyjny – układy kilku detektorów pomiarowych, a człon wskaźnika – wzmacniacz m.c.z. i woltomierz ze wskaźnikiem. Zadaniem członu detekcyjnego jest dostarczenie do wejścia woltomierza napięcia stałego lub wolnozmiennego, które jest proporcjonalne do wartości szczytowej, quasiszczytowej, skutecznej lub średniej przebiegu wymuszającego. Człon wskaźnika jest tą częścią miernika, w której następuje proporcjonalne przetworzenie odpowiedzi detektora na wielkość odbieraną zmysłowo (np. wychylenie kątowe wskazówki przyrządu lub odczytywany stan wskaźnika cyfrowego). Podstawowym celem pomiarów jest sprawdzenie, czy poziomy zakłóceń wytwarzanych przez urządzenia nie przekraczają wartości dopuszczalnych, określonych technicznymi normami i innymi przepisami.



Rys. 1.1. Odbiornik pomiarowy ESCI3 na wyposażeniu laboratorium Instytutu Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii

Odbiornik ESCI3 spełnia wymagania określone w publikacji CISPR 16. Jest urządzeniem obsługiwany za pomocą przycisków, które mają na stałe przypisane funkcje sterujące. Wygodniejszą jednak opcją i bezpieczniejszą dla aparatury jest sterowanie odbiornikiem z poziomu podłączonego do niego komputera klasy PC. W skład stanowiska laboratoryjnego wchodzi komputer na którym zainstalowano program EMC32. Oprogramowanie EMC32 jest oprogramowaniem systemowym do pomiarów EMC w 32 bitowym systemie operacyjnym Windows firmy Microsoft. Program

EMC32 dostosowano do badań jakie studenci będą realizowali w niniejszym ćwiczeniu (m.in. wprowadzono informacje jakie urządzenia są dostępne w systemie pomiarowym w laboratorium, przez jaki interfejs i pod jakim adresem komunikacyjnym będą adresowane, w jaki sposób są ze sobą połączone i jak będzie przeprowadzany sam pomiar). Przeprowadzenie pomiaru (Testu) przy wykorzystaniu miernika ESCI3 i oprogramowania EMC32 można podzielić na pięć etapów: uruchomienie i nawiązanie połączenia miernika i EMC32, przygotowanie szablonu sprzętowego układu pomiarowego, utworzenie nowego Testu, przeprowadzenie pomiaru oraz zapisanie wyników Testu.

Do pomiaru oprócz miernika zakłóceń konieczne jest wykorzystanie dodatkowego, pomocniczego urządzenia, które pośredniczy pomiędzy punktem pomiaru (miejsce podłączenia do testowanego urządzenia lub fragmentu instalacji) a miernikiem. Są to najczęściej sieci sztuczne, sondy napięciowe lub prądowe (cęgi) lub cęgi absorpcyjne.

Pomiarowa sieć sztuczna

W trakcie pomiaru napięcia zakłócającego generowanego przez obiekt elektryczny, trudno jest określić rezystancję (impedancję) źródła zakłóceń w zakresie wysokich częstotliwości. Dlatego pomiar napięcia może być zdefiniowany tylko wówczas, gdy zostanie zmierzony na określonej rezystancji (impedancji) obciążenia, tzw. zastępczej. Obiekt mierzony zostaje połączony z tzw. siecią sztuczną, która przedstawia sobą dla wielkości zakłócającej zdefiniowaną impedancję obciążenia.



Rys. 1.2. Jednofazowa sieć sztuczna - Schaffner NNB 41C

Sieć sztuczna – LISN (ang. Line Impedance Stabilization Network) stabilizuje warunki pomiarów napięć zakłóceń w obwodzie zasilania testowanego obiektu. Realizuje to poprzez spełnienie następujących funkcji:

- Obciąża badane źródło impedancją $50\Omega/50\mu\text{H} + 5\Omega$, a spadek napięcia na tej impedancji jest miarą poziomu zakłóceń badanego źródła.
- Izoluje obwód pomiarowy od wpływu przypadkowych zmian impedancji obwodu zewnętrznego oraz od sygnałów w.cz., jakie mogą przenikać z badanego obiektu do sieci i na odwrót z sieci zasilającej do obiektu.

- Umożliwia normalny odbiór prądów roboczych (prąd stały lub 50Hz) w obwodzie testowanego obiektu. Sieci sztuczne przy częstotliwości prądu zasilającego powinny charakteryzować się spadkiem napięcia $< 5\% U_n$.

Procedura pomiaru jest dosyć prosta. Sieć sztuczna włączana jest szeregowo pomiędzy zasilaniem a obiektem badań np. silnik. Do gniazda BNC sieci sztucznej podłączany jest miernik zakłóceń. Przełączając manualnie punkt pomiarowy w sieci sztucznej badane są zaburzenia w L1 i N.

Sonda prądowa

Do pomiaru prądu zaburzenia wykorzystuje się urządzenie pomocnicze nazywane sondą prądową. Sonda prądowa, wykonana w układzie transformatora prądowego, służy do pomiaru asymetrycznych prądów zaburzeń płynących po przewodach dołączonych do badanego urządzenia. Powinna być tak skonstruowana, aby umożliwiała pomiar prądu zaburzenia bez potrzeby odłączania przewodów sieciowych. Realizuje się to przez umieszczenie rdzenia transformatora sondy wokół badanego przewodu, który stanowi jeden zwój uzwojenia pierwotnego transformatora prądowego (rys. 1.3). Uzwojenie wtórne jest nawinięte na rdzeń toroidalny i ma przyłącze koncentryczne w systemie 50 Ω . Sonda prądowa ma obudowę ekranującą, która zapobiega wpływowi sprzężeń pojemnościowych z otoczenia na mierzony sygnał. Dzięki szczelinie powietrznej przez którą nakłada się cęgi na przewód, ekran jest rozwarty dla prądów indukowanych w ekranie, co przekłada się na to, że obudowa nie stanowi dodatkowego uzwojenia zwierającego.



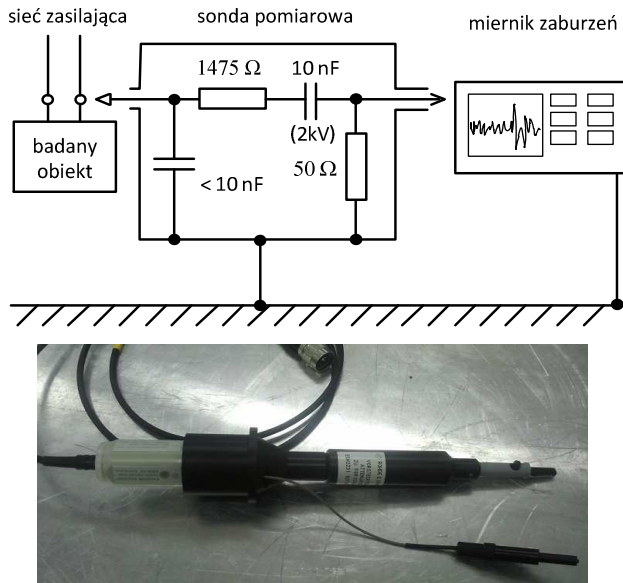
Rys. 1.3. Konstrukcja sondy prądowej oraz zdjęcia sondy EZ-17

Parametrem charakteryzującym sondę prądową jest impedancja przenoszenia, która jest stosunkiem napięcia na przyłączy koncentrycznym sondy do prądu w badanym przewodzie. Sonda prądowa, podobnie jak napięciowa nie zapewnia stabilizacji impedancji od strony sieci zasilającej.

Procedura pomiaru jest prosta. Sondę należy założyć kolejno na każdy z badanych przewodów: L1, N. W pierwszym etapie, pomiar należy wykonać detektorem wartości maksymalnej P (opcjonalnie średniej AV). Przy istniejących powyżej dopuszczalnego limitu zaburzeniach, pomiary w określonych częstotliwościach powtarzane są detektorem QP.

Sonda napięciowa

Sonda napięciowa jest urządzeniem pomocniczym, które umożliwia pomiar napięcia zaburzeń bezpośrednio na zaciskach badanego urządzenia lub na przewodach toru zasilania. Jest szczególnie przydatna podczas pomiaru zaburzeń emitowanych do środowiska przez wysokonapięciowe sieci zasilające lub obwody w których płyną duże prądy (znamionowe wartości prądów i napięć przekraczają wartości dostępnej sieci sztucznej). Parametry i wymagania stawiane sondom napięciowym zostały zawarte w publikacji CISPR 16-1. Ważne jest aby reaktancja kondensatora w sondzie była dużo mniejsza od rezystancji włączonej w szereg (wynoszącej typowo 1450Ω lub 1475Ω) w przedziale częstotliwości, dla którego używa się sondy. Dzięki temu kondensator ten nie zwiększa impedancji sprzężenia.



Rys. 1.4. Konstrukcja sondy prądowej oraz zdjęcie sondy EZ-17

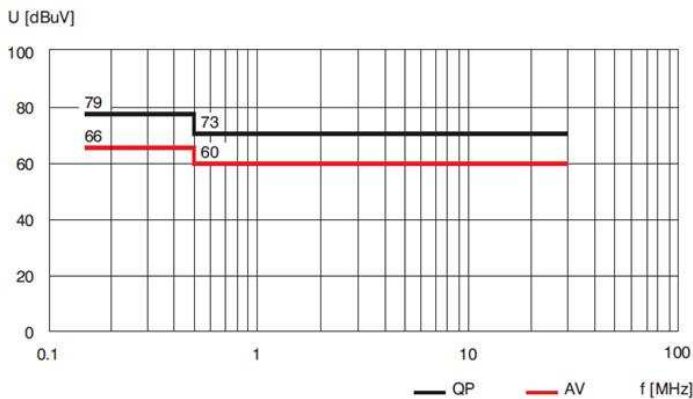
Sonda ta jest bezpośrednio dołączana do miernika zakłóceń. Charakteryzuje się stosunkowo dużym tłumieniem oraz znaczną impedancją wejściową. Ze względu na to że jest dwójnikiem, nie zapewnia stabilizacji impedancji od strony zasilania badanego obiektu.

1.3. Normalizacja

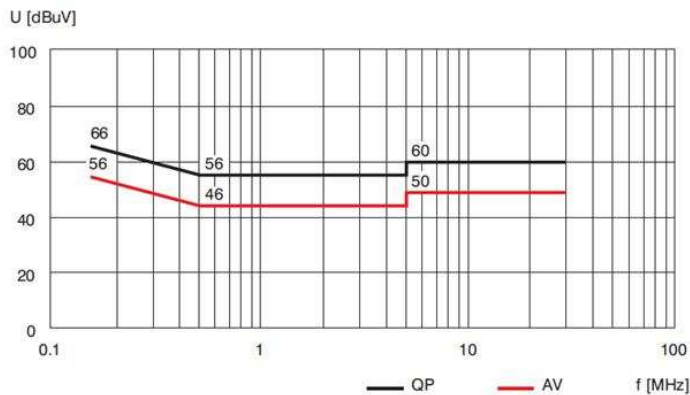
Wymagania zasadnicze dotyczące emisji zaburzeń elektromagnetycznych oraz odporności na zaburzenia elektromagnetyczne zawarte są w dyrektywie 2004/108/WE w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do

kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), wdrożonej do prawa polskiego Ustawą z dnia 13 kwietnia 2007 r. o kompatybilności elektromagnetycznej (Dz. U. 2007 r., Nr 82, poz. 556). W Polsce dyrektywę EMC wdraża Ustawa o kompatybilności elektromagnetycznej z dnia 13 kwietnia 2007 r.

Wymagania szczegółowe, czyli dopuszczalne limity dotyczące emisji elektromagnetycznej lub kryteria oceny przy badaniach odporności elektromagnetycznej znajdują się w normach zharmonizowanych z dyrektywą EMC. Urządzenia spełniające kompatybilnościową dyrektywę 2004/108/WE pod kątem zakłóceń przewodzonych muszą generować pola elektromagnetyczne mieszczące się w odpowiednich zakresach. Zakresy te zależą od przeznaczenia urządzenia: użytkowanie domowe/biurowe (klasa B) lub przemysłowe (klasa A). Urządzenie uznaje się za spełniając wymagania dot. promieniowania przewodzonego jeżeli pomiar QP i AV mieści się w odpowiednich zakresach przedstawionych na rys.1.5 i rys.1.6 w przedziale częstotliwości 150kHz–30MHz.



Rys.1.5. Limity dopuszczalnych zaburzeń emisji przewodzonej dla klasy A (EN55011/22)



Rys. 1.6. Limity dopuszczalnych zaburzeń emisji przewodzonej dla klasy B (EN55011/22)

Tab. 1.1 Poziomy emisji przewodzonej wg EN55022 Klasa B

Częstotliwość	Poziom wartości średniej AV	Poziom wartości Quasi-Peak
Klasa A		
0,15 MHz – 0,5 MHz	66 dB μ V	79 dB μ V
0,5 MHz - 5 MHz	60 dB μ V	73 dB μ V
5 MHz - 30 MHz	60 dB μ V	73 dB μ V
Klasa B		
0,15 MHz – 0,5 MHz	56 dB μ V - 46 dB μ V	66 dB μ V - 56 dB μ V
0,5 MHz - 5 MHz	46 dB μ V	56 dB μ V
5 MHz - 30 MHz	50 dB μ V	60 dB μ V

Aby osiągnąć poprawność konstrukcji i spełnienie wymagań zasadniczych dyrektywy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej, konieczne jest przeprowadzenie badań i pomiarów wykazujących tę zgodność. Jest to szczególnie istotne, by na rynek trafiały urządzenia lub instalacje w pełni dostosowane do obowiązujących wymagań, definiowanych przez dyrektywę kompatybilności elektromagnetycznej, a co za tym idzie urządzenia bezpieczne dla środowiska naturalnego i środowiska pracy.

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

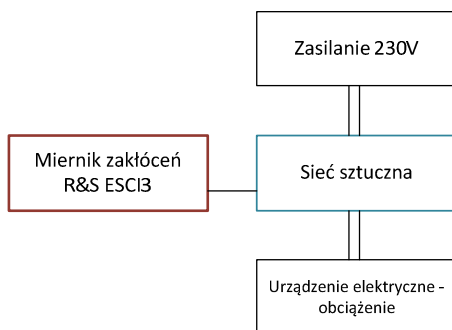
Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodami pomiarów przewodzonych zaburzeń elektromagnetycznych w zakresie 0,15–30 MHz w szczególności w instalacjach z odnawialnymi źródłami energii.

2.1. Identyfikacja obiektu badanego

Wykorzystując miernik TES-1361C oraz stację pogodową dokonać pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia w miejscu wykonywania pomiarów. Udokumentować aparatem cyfrowym układ pomiarowy oraz badane obiekty. Sporządzić krótką charakterystykę badanych obiektów (dane znamionowe).

2.2. Pomiar zaburzeń przewodzonych przy wykorzystaniu sieci sztucznej

Zestawić układ pomiarowy zgodnie z poniższym schematem (rys.2.1). Do testów laboratoryjnych należy wykorzystać odbiornik pomiarowy Rohde&Schwarz ESCI 3 oraz sieć sztuczną NNB 41C. Układ zasilany będzie z wydzielonego obwodu sieci energetycznej. Badanie poziomu emisji przewodzonej przeprowadzone będzie na wybranym przez prowadzącego obiekcie (układ impulsowy lub silnik).



Rys. 2.1. Układ blokowy do pomiaru zaburzeń z siecią sztuczną

Całość testu będzie sterowana automatycznie z poziomu programu komputerowego EMC32. W ustawieniach sprzętowych programu zostały już wprowadzone współczynniki kalibracyjne użytych do pomiaru urządzeń pomocniczych – sieci sztucznej oraz sond pomiarowych. W szablonie testu ustawione są dwa detektory – maxpeak i average. Ustawienia przemiatania są automatyczne, zgodne z CISPR16, czas próbkowania 10 ms. Wyniki testu należy zapisać (dane można wyeksportować do pliku lub zrobić zrzut ekranowy charakterystyki). Pomiar zaburzeń obejmuje przewody L i N, wybór linii realizowany jest w sposób manualny.

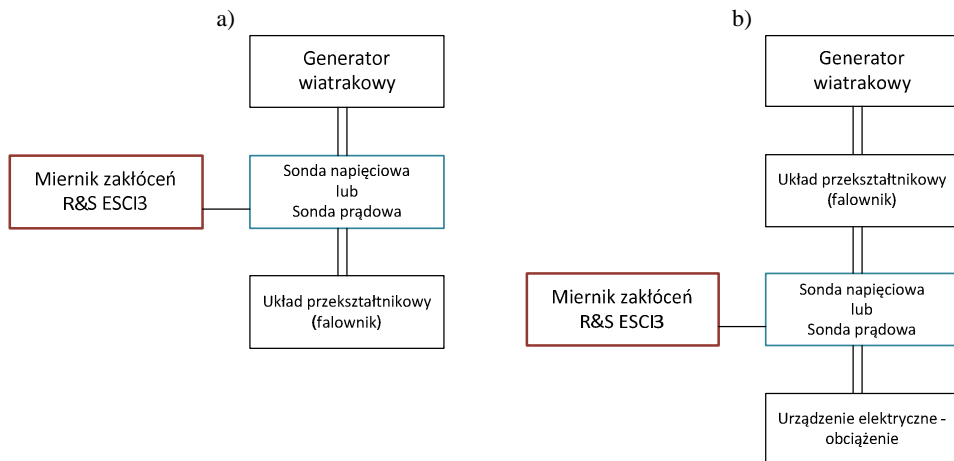
Podczas realizacji wszystkich testów realizowanych w tym ćwiczeniu zachować szczególną ostrożność – obwód jest zasilany z obwodów bez wyłączników różnicowoprądowych!

2.3. Pomiar zaburzeń przewodzonych sondą napięciową i prądową

Pomiary zaburzeń w instalacji z generatorem wiatrakowym realizowane są w dwóch punktach – na wyjściu generatora, przed układem przekształcającym (falownikiem) oraz na wyjściu. Wybór szczegółowych punktów podpięcia się urządzeń pomocniczych do układu OZE akceptuje nauczyciel prowadzący ćwiczenie.

W pierwszym teście należy zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem (rys.2.2a). Do testów laboratoryjnych należy wykorzystać odbiornik pomiarowy Rohde&Schwarz ESCI 3 oraz sondę napięciową lub prądową (do dyspozycji na stanowisku). Wybór urządzenia pomocniczego jest uwarunkowany dostępem do punktu pomiarowego. W przypadku braku dostępu bezpośredniego sondą napięciową – pomiar należy realizować cęgami prądowymi EZ-17 na przewodach L i N. Układ falownika należy obciążyć rezystorem.

Drugi test będzie realizowany wg schematu 2.2b. Tu również należy wykorzystać odbiornik pomiarowy Rohde&Schwarz ESCI 3 oraz sondę napięciową lub prądową. Badanie poziomu emisji przewodzonej przeprowadzone będzie na wybranym przez prowadzącego obiekcie (układ impulsowy lub silnik).



Rys. 2.2. Układy blokowe: a) pomiar na wyjściu generatora, b) pomiar na wyjściu falownika

Obydwa układy testów będą sterowane automatycznie z poziomu programu komputerowego EMC32. W szablonie ustawione będą dwa detektory – maxpeak i average. Ustawienia przemiatania – automatyczne, zgodne z CISPR16, czas próbkowania – 10ms. Wyniki testu należy zapisać (dane można wyeksportować do arkusza kalkulacyjnego, lub zrobić zrzut ekranowy charakterystyki). Pomiary zaburzeń przeprowadzić na linii L i N. W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki wszystkich pomiarów i obliczeń. Dla każdego z badanych układów sporządzić oddzielne charakterystyki emisji przewodzonej w pełnym paśmie 150kHz – 30MHz.

Ćwiczenie 5

Badanie emisji elektromagnetycznej w zakresie niskich częstotliwości

1.1 Wprowadzenie

Pole elektromagnetyczne stanowi szczególnego rodzaju postać energii, złożoną z dwóch nierozdzielnie ze sobą związanych składników – pola elektrycznego i pola magnetycznego. Pole elektromagnetyczne wyróżnia się ciągłością rozkładu w przestrzeni, zdolnością rozchodzenia się w próżni i oddziaływaniem siłą na cząsteczki materii naładowane ładunkiem elektrycznym. Pola elektromagnetyczne mogą być stałe lub zmienne w czasie. Zmienność pól wyraża się przez liczbę zmian na sekundę, zdefiniowaną jako częstotliwość. Długość fali dla pól zmiennych wyraża się zależnością $\lambda = c / f$ (gdzie c jest szybkością światła).

Wyróżniamy pole elektryczne, które jest wywołane obecnością przeciwstawnych ładunków elektrycznych, czyli napięciem elektrycznym oraz pole magnetyczne, wywołane ruchem ładunków elektrycznych, czyli prądem elektrycznym. Fala elektromagnetyczna składa się ze sprzężonych ze sobą pól elektrycznego E i magnetycznego H . Źródła pola elektromagnetycznego, występującego w środowisku, można podzielić na dwa rodzaje: naturalne i sztuczne.

W przypadku źródeł napięć i prądów o częstotliwości sieciowej wytwarzane pole elektromagnetyczne jest polem bliskim i powinno być charakteryzowane przez natężenie składowej pola elektrycznego E oraz składowej pola magnetycznego H , których wartości określa się obliczeniowo lub poprzez pomiary. Dla warunków rzeczywistych obliczenia rozkładu i wartości pól E i H są bardzo skomplikowane, w praktyce wykonuje się więc pomiary obu składowych. Pomiary takie przeprowadza się przy użyciu odpowiednich przyrządów, z zachowaniem wymaganych procedur pomiarowych (odpowiednie miejsce, określona wysokość, uwzględnienie wpływu sąsiadujących obiektów przewodzących oraz warunków atmosferycznych).

Analizę rozkładu natężeń pól elektrycznych i magnetycznych wykonuje się w dwóch celach:

- dla określenia stref bezpieczeństwa wokół źródeł takich pól, tj. urządzeń i instalacji wysokonapięciowych oraz instalacji i urządzeń wieloprądowych,
- podczas badania urządzeń elektronicznych pod kątem spełniania wymagań norm dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej.

W ćwiczeniu wyznaczane będą rozkłady słabych pól w zakresie niskich częstotliwości. Zakres bardzo niskich częstotliwości (VLF) obejmuje pola o częstotliwościach

3–30kHz (w praktyce jest rozszerzany do 2–500kHz). Zakres ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) obejmuje częstotliwości 30–300Hz, przy czym może być rozszerzany do wartości 5–2000Hz.

Pole magnetyczne jest polem wektorowym opisywanym przez dwie wielkości wektorowe: natężenie pola magnetycznego H oraz indukcję magnetyczną B . Jednostką natężenia pola magnetycznego H jest [A/m] - amper na metr, zaś indukcji magnetycznej B jest [T] – tesla. Dodatkową jednostką indukcji stosowaną do opisu pola magnetycznego jest też G (gaus). W tabeli 1.1 podane zostały zależności pomiędzy przytoczonymi wyżej jednostkami indukcji magnetycznej i natężeniem pola magnetycznego.

Tab.1.1. Przelicznik skal stosowany w miernikach natężeń pól magnetycznych

	[A/m]	[μ T]	[Gs]
Natężenie pola magnetycznego [A/m]	1	1,25	0,01
Indukcja magnetyczna [μ T]	0,8	1	0,01
Indukcja magnetyczna [Gs]	80	100	1

Polem magnetycznym w otoczeniu człowieka jest naturalne pole magnetyczne ziemi. Pole to oraz pole wytwarzane przez magnesy stałe stanowią tzw. stałe pole magnetyczne. Oprócz w/w źródeł pola magnetycznego, wytwarzane może być ono również w wyniku przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik. Jeśli prąd przepływający przez przewodnik jest zmienny (jak w typowej sieci elektroenergetycznej) to powstałe wtedy pole magnetyczne jest także zmienne i ma tę samą częstotliwość co prąd. Zatem wszelkie pracujące domowe urządzenia elektryczne jak i urządzenia elektroenergetyczne służące do wytwarzania i przesyłania energii elektrycznej są źródłami pola magnetycznego. Składowa magnetyczna pola elektromagnetycznego zależy od wartości natężenia prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik, a linie sił tego pola zamykają się wokół przewodnika. Natężenie pola magnetycznego maleje wraz z odległością od źródła.

Pole elektryczne opisywane jest przez wektor natężenia pola elektrycznego E . Rozkład pola elektrycznego jest definiowany przez linie sił pola i linie ekwipotencjalne, przy czym obie rodziny linii są wzajemnie ortogonalne. Linią sił pola nazywa się więc linię w przestrzeni, do której styczna w dowolnym punkcie ma kierunek wektora natężenia pola. Istnienie pola elektrycznego można stwierdzić wprowadzając do niego ładunek q , gdyż będzie na niego działać siła F zależna od wartości liczbowej tego ładunku. Aby ładunek nie zniekształcał pola jest pożądane, aby był on znikomy. Definityjnie przyjmuje się zatem, że wektor natężenia pola elektrycznego jest ilorazem siły F działającej na ładunek elektryczny q znajdujący się w tymże polu elektrycznym do wartości tego ładunku.

Źródłem pola elektrycznego są wszelkie pracujące urządzenia elektryczne i elektroenergetyczne. Składowa elektryczna pola elektromagnetycznego (natężenie pola elektrycznego E) determinowana jest potencjałem obiektu (napięciem), nie za-

leży zaś od wartości natężenia prądu. Należy więc pamiętać, że mimo iż natężenie prądu równa się 0 to pole elektryczne istnieje (mierzone przy gniazdku do którego żadne urządzenie nie jest podłączone). Natężenie pola elektrycznego maleje wraz z odległością od źródła.

Pole magnetyczne jest niebezpieczniejszym medium niż pole elektryczne, szczególnie w zakresie technik jego ograniczania. Pola elektryczne łatwo zaekranować nawet milimetrową blachą aluminiową, silnych pól magnetycznych nie można ograniczyć nawet wielowarstwowymi kilkucentymetrowymi ekranami stalowymi. Dlatego ważne są pomiary stref zasięgu źródeł pola magnetycznego.

1.2. Źródła pól elektrycznych i magnetycznych małej częstotliwości

Głównymi sztucznymi źródłami promieniowania w zakresie niskich częstotliwości w środowisku są:

- elektroenergetyczne linie napowietrzne wysokiego napięcia,
- stacje transformatorowe,
- prądowe tory zasilające systemy i urządzenia przemysłowe,
- instalacje i urządzenia elektrotermiczne (takie jak nagrzewnice, piece indukcyjne, zgrzewarki rezystancyjne i pojemnościowe).
- trakcja kolejowa, tramwajowa, trolejbusowa
- ze względu na mnogość – sprzęt gospodarstwa domowego i powszechnego użytku zasilany prądem zmiennym 50Hz.

Promieniowanie elektromagnetyczne uważa się obecnie za jedno z poważniejszych zanieczyszczeń środowiska, a jego oddziaływanie na środowisko będzie stale wzrastać, co jest efektem wtórnym postępu cywilizacyjnego. Od kilku lat wzrasta emisja pól elektromagnetycznych w środowisku, co jest przede wszystkim spowodowane rozwojem telefonii komórkowej, technologii bezprzewodowej komunikacji oraz rozbudową linii i stacji elektroenergetycznych (popyt na energię elektryczną). Rozwijająca się energetyka źródeł odnawialnych (np. farmy wiatrowe) to kolejne instalacje, które mogą być potencjalnymi źródłami pól elektrycznych i magnetycznych o niskich częstotliwościach (50Hz). Rozkłady pól w ich otoczeniu będą zależne od konstrukcji technicznych i wykorzystywanych technologii przetwarzania energii.

Inwestor prowadzący instalację czy też użytkownik urządzenia emitującego pola elektromagnetyczne, w zależności od parametrów technicznych obiektu, może być zobowiązany do wykonania pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (ustawa Prawo ochrony środowiska):

- bezpośrednio po rozpoczęciu użytkowania instalacji lub urządzenia;
- każdorazowo w przypadku zmiany warunków pracy instalacji lub urządzenia, w tym zmiany spowodowanej zmianami w wyposażeniu instalacji lub urządzenia, o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest instalacja lub urządzenie.

Najpowszechniej występującymi instalacjami będącymi udokumentowanymi źródłami pól elektrycznych i magnetycznych, które mają istotny wpływ na ogólny poziom pól w naturalnym środowisku, są linie elektroenergetyczne. W Polsce do przesyłania energii stosuje się częstotliwość 50Hz. Zanim energia elektryczna dotrze do odbiorców końcowych (indywidualnych), najpierw musi zostać wytworzona a następnie przetransportowana. Do transportu energii służą linie i stacje elektroenergetyczne. Napięcia niskie stosowane są do przesyłania energii do odbiorców indywidualnych (230V, 400V). Rozdział energii elektrycznej dokonuje się liniami napowietrznymi lub kablowymi o napięciach znamionowych od 6kV do 110kV, natomiast przesył energii odbywa się liniami o napięciach 220kV i 400kV.

Współistnienie dużej liczby urządzeń elektrycznych i instalacji powoduje, że w efekcie superpozycji emisji wielu urządzeń o większych mocach, pola nakładają się wzajemnie tworząc pole elektromagnetyczne o pewnej mierzalnej wartości na znacznym obszarze. Pole to może oddziaływać zarówno na obiekty biologiczne jak również na inne znajdujące się w tym obszarze urządzenia i systemy elektryczne. Ryzyko wynikające z narażenia na działanie pola elektromagnetycznego zależy od natężenia działających sił. Aby ocenić potencjalne zagrożenie narażenia w danym miejscu, muszą być przeprowadzone symulacje i monitoring natężeń pól.

1.3. Prawodawstwo

Mimo wieloletnich badań nie udało się dotychczas ustalić dopuszczalnych dla człowieka i środowiska, jednolitych dla Europy i świata, natężeń pól elektromagnetycznych. Zagadnienia dotyczące ochrony ludzi i środowiska przed niekorzystnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych, są oprócz prawa ochrony środowiska również regulowane przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy, prawa budowlanego, prawa zagospodarowania przestrzennego oraz przepisami sanitarnymi. Ważną jednak informacją jest fakt, że Polska ma jedno z bardziej rygorystycznych praw w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych emisji.

W zakresie ochrony ludzi i środowiska przed polami elektromagnetycznymi, obowiązuje Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów z dnia 30 października 2003 r. (Dz. U. Nr 192, poz. 1883). Zgodnie z tym rozporządzeniem, w otoczeniu źródeł pól elektromagnetycznych określa się dopuszczalne poziomy promieniowania niejonizującego w postaci wartości granicznych wielkości fizycznych, które nie powinny być przekroczone w miejscach dostępnych dla ludzi. Wpływ pola elektromagnetycznego na człowieka i środowisko uzależniony jest od wysokości natężenia (lub gęstości mocy) oraz częstotliwości drgań. Dlatego wartość poziomów dopuszczalnych jest określana w pasmach częstotliwości. Są one zróżnicowane dla:

- terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową (tabela 1.2),
- miejsc dostępnych dla ludności (tabela 1.3).

Tabela 1.2. Dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla terenów przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową

Parametr fizyczny:	Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego			
50 Hz	1 kV/m	60 A/m *	-

*) lub równoważna indukcja magnetyczna 75 μ T

Tabela 1.3. Zakres częstotliwości pól elektromagnetycznych, dla których określa się parametry fizyczne charakteryzujące oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko, dla miejsc dostępnych dla ludności oraz dopuszczalne poziomy pól elektromagnetycznych, charakteryzowane przez dopuszczalne wartości parametrów fizycznych, dla miejsc dostępnych dla ludności

Parametr fizyczny		Składowa elektryczna	Składowa magnetyczna	Gęstość mocy
Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego				
1	0 Hz	10 kV/m	2.500 A/m	-
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	-	2.500 A/m	-
3	od 0,5 Hz do 50 Hz	10 kV/m	60 A/m	-
4	od 0,05 kHz do 1 kHz	-	3/f A/m	-
5	od 0,001 MHz do 3 MHz	20 V/m	3 A/m	-
6	od 3 MHz do 300 MHz	7 V/m	-	-
7	od 300 MHz do 300 GHz	7 V/m	-	0,1 W/m ²

Z rozporządzeniem powiązana jest także ustawa „Prawo ochrony środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. z 2008 r. Nr 25, poz. 150), z późniejszymi zmianami, która również określa zasady ochrony środowiska przed niezamierzoną ekspozycją. Zgodnie z tą ustawą ochrona przed polami elektromagnetycznymi polega na zapewnieniu jak najlepszego stanu środowiska poprzez :

- utrzymanie poziomów pól elektromagnetycznych poniżej dopuszczalnych poziomów lub co najmniej na tych poziomach;
- zmniejszanie poziomów pól elektromagnetycznych co najmniej do dopuszczalnych poziomów, gdy nie są one dotrzymane.

Zgodnie z ustawą prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia emitującego pola elektromagnetyczne, które są stacjami elektroenergetycznymi lub napowietrznymi liniami elektroenergetycznymi o napięciu znamionowym nie niższym niż 110kV lub instalacjami radiokomunikacyjnymi, radionawigacyjnymi lub radiolokacyjnymi, emitującymi pola elektromagnetyczne, których równoważna moc promieniowana izotropowo wynosi nie mniej niż 15W, emitującymi pola elektromagnetyczne o częstotliwościach od 30kHz do 300GHz, są obowiązani do wykonania pomiarów poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku:

- bezpośrednio po rozpoczęciu użytkowania instalacji lub urządzenia,
- każdorazowo w przypadku zmiany warunków pracy instalacji lub urządzenia, w tym zmiany spowodowanej zmianami w wyposażeniu instalacji lub urządzenia, o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest instalacja lub urządzenie.

Ponadto, zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 r. (Dz. U. z 2004 r. Nr 257, poz. 2573) w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych kryteriów związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięć do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko, sporządzenia raportu wymagają:

- stacje elektroenergetyczne lub napowietrzne linie elektroenergetyczne o napięciu znamionowym wynoszącym nie mniej niż 220kV, o długości nie mniejszej niż 15km,
- instalacje radiokomunikacyjne, radionawigacyjne i radiolokacyjne, emitujące pola elektromagnetyczne, których równoważna moc promieniowana izotropowo wynosi nie mniej niż 100W, emitujące elektromagnetyczne o częstotliwościach od 30kHz do 300GHz.

Do wykonywania pomiarów i oceny kwalifikacji obligują także rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. Nr 213, poz. 1397) oraz ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. Nr 199, poz. 1227).

Pomiary wykonuje się w pionach pomiarowych (punktach pomiarowych położonych na wysokościach od 0,3m do 2m nad powierzchnią ziemi), na których mogą przebywać ludzie, przyjmując za wynik pomiaru maksymalny poziom pola; w oddaleniu o co najmniej 0,3m od urządzeń elektrycznych, obiektów i elementów metalowych i w odległości nie mniejszej niż 1,6m od ścian obiektów budowlanych.

Ochrona przed polami elektromagnetycznymi w środowisku zawodowym uregulowana jest przepisami zawartymi w:

- rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (Dz. U. Nr 217, poz. 1833),
- ustawie z dnia 26 czerwca 1974 Kodeks pracy (Dz. U. Nr 21 poz. 94 z 1998r.),
- rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 2 II 2011r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 33, poz.166).

Ochrona ta realizowana jest w systemie strefowym, przez ograniczanie natężenia pola na stanowiskach pracy poniżej wartości dopuszczalnych oraz przez ograniczanie czasu pracy przy przekroczeniu wartości dopuszczalnych. Ochrona strefowa polega na wyznaczeniu w otoczeniu źródeł pól elektromagnetycznych trzech stref ochronnych, rozumianych jako obszar w zależności od wartości parametrów pola: strefy pośredniej, strefy zagrożenia oraz strefy niebezpiecznej.

W strefie pośredniej przebywanie pracowników dopuszczalne jest w ciągu całej zmiany roboczej. W strefie zagrożenia przebywanie pracowników jest ograniczone, natomiast w strefie niebezpiecznej przebywanie pracowników jest zabronione. Obszar, poza zasięgiem stref ochronnych, jest obszarem strefy bezpiecznej.

Parametrami pola, branymi pod uwagę w ochronie na stanowiskach pracy, które muszą być spełnione jednocześnie, są pasmo częstotliwości (0Hz–300GHz), natężenie pola elektrycznego (E w V/m), doza rzeczywista pola elektrycznego i magnetycznego strefy zagrożenia (D_E w $(V/m)^2h$), wskaźnik ekspozycji dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego w strefie zagrożenia.

Poniżej w postaci dwóch tabeli zestawiono postanowienia zawarte w rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz normie PN-T-06580:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0Hz do 300GHz. Arkusz 01. Terminologia. Arkusz 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy, które mają zastosowanie do oceny ekspozycji pracowników.

Tab.1.4. Dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego $E_k(f)$ oraz dozy dopuszczalne wyrażone odnośnie do natężenia pola elektrycznego $D_{dE}(f)$

Zakres częstotliwości	$E_0(f)$ [V/m]	$E_1(f)$ [V/m]	$E_2(f)$ [V/m]	$D_{dE}(f)$ $[(kV/m)^2h]$
(0,5÷300) Hz	5000	10000	20000	800

Tab.1.5. Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego $H_k(f)$ i indukcji magnetycznej $B_k(f)$ oraz dozy dopuszczalne wyrażone odnośnie do natężenia pola magnetycznego $D_{dH}(f)$ i do indukcji magnetycznej $D_{dB}(f)$ dla zakresu częstotliwości przemysłowej 50Hz

Zakres częstotliwości	(0,5÷50) Hz
$H_0(f)$ [A/m]	66,6
$B_0(f)$ [μ T]	83,3
$H_1(f)$ [A/m]	200
$B_1(f)$ [μ T]	250
$H_2(f)$ [A/m]	2000
$B_2(f)$ [μ T]	2500
$D_{dH}(f)$ $[(A/m)^2h]$	320
$D_{dB}(f)$ $[(\mu T)^2h]$	500

E_0, H_0, B_0 – wartości rozgraniczające strefę pośrednią od bezpiecznej, granica ekspozycji zawodowej
 E_1, H_1, B_1 – wartości rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej (ekspozycja do 8 godzin).
 E_2, H_2, B_2 – wartości na granicy strefy niebezpiecznej (rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia – zakaz ekspozycji).
 D_{dE}, D_{dH}, D_{dB} – wartości do wyznaczania wskaźnika ekspozycji W pracownika w strefach ochronnych.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie ekspozycja pracowników oceniana jest na podstawie pomiarów wartości skutecznej natężenia pola elektrycznego lub magnetycznego. Jako wynik punktu pomiarowego należy przyjąć maksymalną chwilową wartość skuteczną, zmierzoną w linii odpowiadającej osi ciała pracownika. W przypadku zmierzenia wokół źródła dużych natężeń pól, zgodnie z wymienionymi przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy, wyróżnia się obszar tzw. stref ochronnych, w których mogą przebywać jedynie pracownicy zatrudnieni przy źródłach pól –

po przejściu specjalistycznego przeszkolenia i poddaniu się badaniom lekarskim, potwierdzającym brak przeciwwskazań zdrowotnych do ekspozycji.

Rozporządzenie nakłada na pracodawcę obowiązek oznakowania urządzeń wytwarzających pola elektromagnetyczne i obszarów występowania silnych pól jako zasięgu stref ochronnych.

1.4. Metodyka badania

Metrologia pól elektromagnetycznych niskich częstotliwości w środowisku naturalnym i w obszarze stanowiska pracy jest zagadnieniem złożonym. Prawidłowe przeprowadzenie pomiarów pola elektromagnetycznego wymaga wiedzy specjalistycznej nie tylko w zakresie samej metrologii, ale również znajomości problemów wynikających z narażenia tym czynnikiem oraz zasad ochrony przed nim. Oprócz wyboru metody pomiarowej, czasu, warunków wykonania pomiarów, w badaniach pola elektromagnetycznego w warunkach terenowych, ważne jest również sporządzenie właściwej dokumentacji i interpretacja wyników pomiarów w ujęciu wymaganym odpowiednimi przepisami z ustawy o ochronie środowiska.

Badania poziomów pól elektromagnetycznych prowadzone są na podstawie dokonywanych pomiarów natężenia składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego w przedziale częstotliwości od 0 do 3MHz. Znaczne wartości natężenia pola z tego przedziału są związane z bliskim umiejscowieniem źródła pola, np. linii przesyłowej.

Metodą powszechnie stosowaną w pomiarach ochronnych (zarówno dla celów BHP jak i ochrony środowiska) są pomiary szerokopasmowe miernikami przystosowanymi do pomiarów w bezpośrednim otoczeniu źródeł (szeroko rozumiane pole bliskie) jak i w polu dalekim. Zaletą takich pomiarów jest uzyskanie pojedynczego wyniku odpowiadającemu wypadkowemu natężeniu pól wszystkich źródeł z zakresu pomiarowego sondy.

Do pomiaru pola potrzebne jest zastosowanie czujników natężenia pola o małych rozmiarach nie tylko w porównaniu do długości fali, lecz także do najmniejszej odległości, na jakiej ma być prowadzony pomiar oraz rozmiarów przestrzennych źródeł pola. Konieczne jest zatem stosowanie anten nie tylko o małych wymiarach falowych, ale także o małych wymiarach geometrycznych, co wiąże się z dokładnością pomiarów. W zakresie niskich częstotliwości konieczny jest niezależny pomiar składowej elektrycznej i magnetycznej pola.

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi zasadami pomiarów rozkładów przestrzennych natężeń pól elektrycznych i magnetycznych wokół urządzeń i instalacji elektroenergetycznych. Pomiary realizowane będą w zakresach niskich częstotliwości.

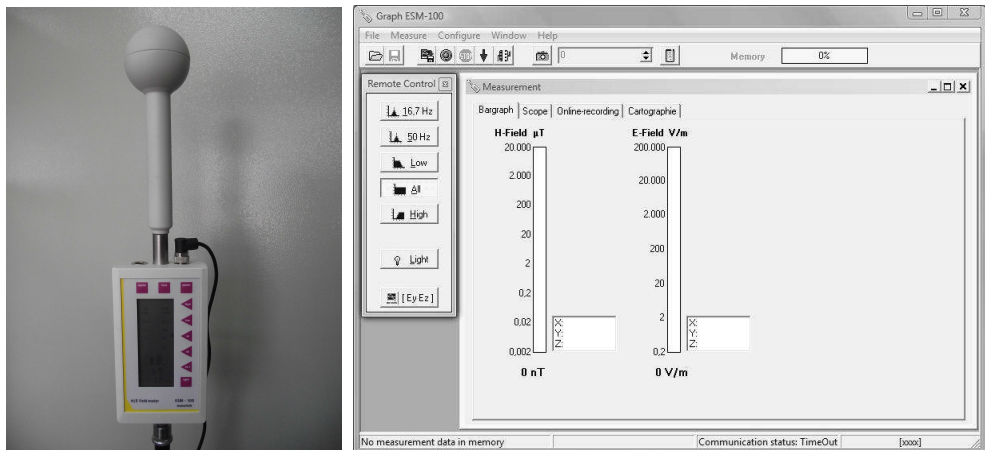
Przed badaniami zapoznać się z instrukcją stanowiskową BHP oraz instrukcjami obsługi badanych urządzeń i mierników. O wszelkich nieprawidłowościach w pracy przyrządów należy natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia.

2.1. Identyfikacja środowiska pomiarowego i badanych obiektów

Przed właściwą realizacją badań emisji elektrycznej i magnetycznej studenci powinni wykorzystując miernik TES-1361C oraz stację pogodową dokonać pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia w miejscu wykonywania pomiarów. Pomiary wykonać trzykrotnie, na początku zajęć, w połowie i pod koniec. W sprawozdaniu zamieścić wartości średnie. Udokumentować aparatem cyfrowym dokładne pozycje pomiarowe oraz badane obiekty.

2.3. Wyznaczenie natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół urządzenia elektrycznego

Do tego ćwiczenia będzie wykorzystywane stanowisko laboratoryjne z miernikiem Mashek ESM100. Miernik ESM100 wyposażony jest w izotropowy czujnik pola elektromagnetycznego, który umożliwia wykonanie pomiarów zarówno składowej pola elektrycznego jak i składowej magnetycznej w trzech kierunkach przestrzennych $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ oraz łącznych wartości E_{3D}, H_{3D} .



Rys. 2.1. Miernik ESM-100 oraz okno startowe programu Graph ESM100

Miernik charakteryzuje zakres częstotliwości od 5Hz do 400kHz, zakresy pomiarowe 100mV/m–100kV/m i 1nT–20mT oraz dokładność pomiarowa $\pm 5\%$ w każdym zakresie. Urządzenie posiada następujące podzakresy pomiarowe (system filtrów):

- High frequencies 2kHz do 400kHz;
- Low frequencies 5Hz do 2kHz;
- Filtr tylko 50Hz;
- Filtr tylko 16,7Hz;
- Pełny zakres 5Hz do 400kHz.

Miernik przy pomocy interfejsu RS232 może być podłączony kablem światłowodowym z komputerem klasy PC. Możliwa jest wówczas komunikacja w czasie rzeczywistym z dedykowanym oprogramowaniem Maschek Graph ESM-100, co znacząco wpływa na jakość i szybkość badania oraz opracowania wyników.

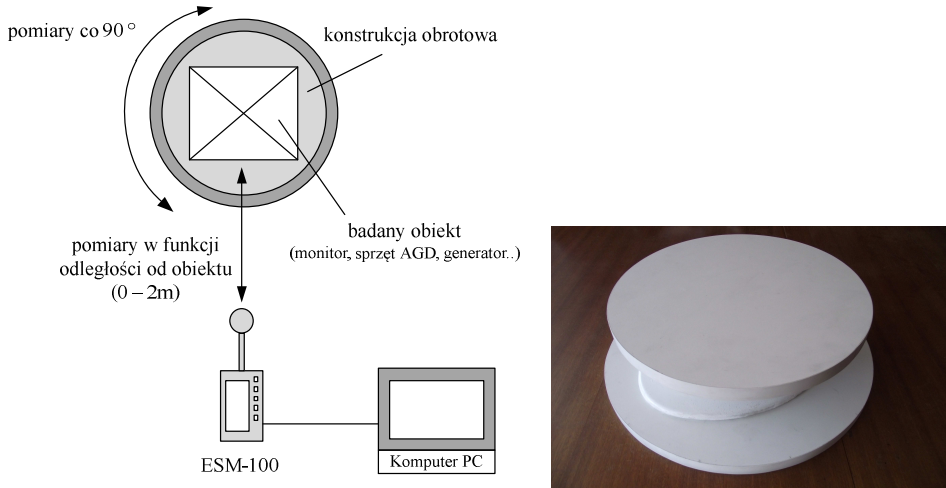
Procedura wykonania pomiarów miernikiem ESM100 jest graficznie zaprezentowana na rysunku 2.2. Stanowisko składa się z zestawu komputerowego z zainstalowanym oprogramowaniem Maschek Graph ESM-100, połączonego kablem światłowodowym z miernikiem ESM-100. Drugą częścią stanowiska jest konstrukcja obrotowa na której ustawiane będą obiekty badane.

Wokół testowanego obiektu (generator, monitor lub sprzęt AGD) należy wykonać pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego. Pomiary wykonać przy samej obudowie testowanego obiektu, z każdego boku (ustawiając konstrukcję obrotową co 90°). W kolejnych krokach zwiększać odległość od obiektu aż do jednego metra. Zestawienie zmierzonych wartości przedstawić w tabeli.

Tab. 2.1. Tabela wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół monitora

Badane urządzenie	Punkt pomiarowy [°]	Odległość od obiektu [cm]	H_{3D} [A/m]	E_{3D} [V/m]
Obiekt 1	0	0		
	0	5		
	0	10		
	0	20		
	0	50		
	0	75		
	0	100		
	90	0		
	90	5		
	90	...		
	180	0		
	180	5		
	180	...		
	270	0		
	270	5		
270	...			

Do zebrania wartości pomiarowych konieczne jest wykorzystanie oprogramowania ESM100. Po uruchomieniu programu i poprawnym nawiązaniu komunikacji z miernikiem pojawia się okno startowe, a obok niego okno kontrolne umieszczone po lewej stronie umożliwiające zdalne wybranie odpowiedniego filtra pomiarowego, np. 50Hz. Przyciskiem *Rec* zgrywane są do pamięci wartości pomiarowe. Przez wybranie funkcji eksportu w menu *File* można dane przenieść do pliku tekstowego lub do zewnętrznego arkusza kalkulacyjnego, np. programu Excel®.



Rys. 2.2. Układ stanowiska pomiarowego do badania emisji zakresu ELF oraz zdjęcie konstrukcji obrotowej

W czasie przeprowadzania pomiarów należy zapewnić możliwie największą odległość innych urządzeń elektrycznych od stanowiska laboratoryjnego i miernika ESM-100 w celu zminimalizowania wpływu emisji od nich na wartość mierzoną.

W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki wszystkich pomiarów i obliczeń oraz zdjęcia robione w trakcie trwania badań.



Rys. 2.3. Widok przykładowego pomiaru od frontu i boku monitora

Na jednym wykresie zamieścić wszystkie krzywe natężenia pola elektrycznego od badanych urządzeń, na drugim wykresie krzywe natężenia pola magnetycznego. We wnioskach odnieść się do dopuszczalnych poziomów emisji zawartych w krajowych lub unijnych przepisach.

2.4. Pomiar natężenia pola elektrycznego i magnetycznego na stanowiskach pracy

W ćwiczeniu będą przeprowadzone badania natężenia pola elektrycznego i magnetycznego na terenie laboratorium i budynku. Do pomiaru należy wybrać miejsca w których zakładana jest wstępnie podwyższona ekspozycja. Przykładowymi punktami pomiarowymi mogą być stanowiska komputerowe, okolice tablic rozdzielczych, układy napędowe i sterujące. Dokładną lokalizację wskazuje prowadzący ćwiczenia.

Do badań należy wykorzystać cyfrowe mierniki TRACER. Są to mierniki o zasilaniu bateryjnym, które pozwalają mierzyć natężenia pola elektrycznego i magnetycznego. W ćwiczeniu miernik TRACER EF90 wykorzystany będzie do pomiaru natężenia pola elektrycznego a TRACER MF100 do pomiaru natężenia pola magnetycznego. Mierniki zaprezentowano na poniższym rysunku.



Rys. 2.4. Widok mierników TRACER

Tracer EF90 jest miernikiem wartości skutecznej pola elektrycznego przystosowanym do pracy w zakresach ELF (30–2000Hz) i VLF (2–500kHz). Ma dwa zakresy pomiarowe, pozwalające mierzyć pola z zakresu 1V/m–20kV/m, w zależności od wybranego pasma częstotliwości. Szczegółowe parametry techniczne miernika są dostępne w instrukcji znajdującej się na stanowisku laboratoryjnym. Podczas wykonywania pomiarów miernik EF90 powinien być umieszczony w dostarczonej przez producenta uchwycie. Kilkudziesięciocentymetrowa rękojeść gwarantuje brak wpływu ręki operatora na rozkład pola wokół miernika. W przypadku niezastosowania uchwytu, wynik należy traktować jako przybliżony. Podczas wykonywania pomiaru miernik należy umieścić w polu elektrycznym w taki sposób, aby pokazywał

wartość maksymalną. Odległość miernika od źródła pola mierzy się od czoła miernika, dodając 0,5cm.

Tracer MR100SE jest miernikiem rzeczywistej wartości skutecznej pola magnetycznego, służącym do pracy w zakresach ELF (5–2000Hz) i VLF (2–400kHz). Zakresy częstotliwości są nieco inne niż w przypadku miernika EF90. Miernik ma dwa zakresy pomiarowe, obejmujące indukcje od 0,1nT do 2000μT. Szczegółowe parametry miernika zestawiono w instrukcji – do wglądu na stanowisku laboratoryjnym. W przeciwieństwie do EF90, na wskazania miernika MR100SE nie wpływa obecność ręki w jego pobliżu. Z tego względu miernik podczas pomiaru może być trzymany bezpośrednio w dłoni. Odległość od źródła pola mierzy się do środka miernika. Podczas pomiaru uproszczonego miernik umieszcza się w polu tak, aby pokazywał maksymalną wartość. Pomiar dokładny wykonuje się w trzech wzajemnie prostopadłych orientacjach miernika, a wartość pola określa się wg wzoru:

$$H_{3D} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

gdzie: H_x , H_y i H_z są wynikami pomiarów w kolejnych, prostopadłych położeniach miernika.

Pomiary polegają na wyznaczeniu wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w głównych i pomocniczych pionach pomiarowych. Liczbę punktów pomiarowych ustala prowadzący. Pomiary należy zestawić w tabeli 2.2.

Tab. 2.2. Wartości pomiarowe wyznaczone miernikami TRACER

Pion pomiarowy	Wysokość w pionie pomiarowym [cm]	E [V/m]	H_x [A/m]	H_y [A/m]	H_z [A/m]	H_{3D} [A/m]
1	0					
	÷					
	200					
2	0					
	÷					
	200					
3	0					
	÷					
	200					

W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki wszystkich pomiarów i obliczeń oraz zdjęcia robione w trakcie trwania badań. Dla maksymalnych zmierzonych i obliczonych wartości określić wartość ekspozycji zawodowej. Porównać uzyskane wartości z dopuszczalną dozą.

2.5. Pomiar natężenia pola elektrycznego i magnetycznego pod linią energetyczną

W ćwiczeniu będą przeprowadzone badania środowiskowe - natężenia pola elektrycznego i magnetycznego w okolicy stacji energetycznej i linii wysokiego napięcia. Do pomiaru należy wybrać miejsca ogólnodostępne na ludzi. Dokładną lokalizację

wskazuje prowadzący ćwiczenia. Do badań należy wykorzystać cyfrowe mierniki TRACER. Miejsca pomiaru udokumentować fotograficznie. Wartości pomiarowe należy zestawić w tabeli.

Tab. 2.3. Wartości pomiarowe wyznaczane w terenie

Lp	Miejsce pomiaru (przykładowo)	E [V/m]	H_x [A/m]	H_y [A/m]	H_z [A/m]	H_{3D} [A/m]
1	Ogrodzenie stacji energetycznej					
2	Brama wjazdowa					
3	Pomiar pod linią przy ogrodzeniu					
4	Pomiar pod linią					
5	Pomiar w odległości kilkudziesięciu metrów od linii i stacji					
6	...					
7	...					
...						

Otrzymane wyniki porównać ze zmierzonymi w budynku. Wyniki należy także skomentować odnosząc się do wartości normatywnych podanych w tabelach z dopuszczalnymi poziomami emisji dla środowiska.

Ćwiczenie 6

Badanie emisji elektromagnetycznej instalacji generatora wiatrakowego w zakresie wysokich częstotliwości

1.1. Wprowadzenie

Oddziaływania elektromagnetyczne mogą być różne, potencjalnie mogą prowadzić do poważnych zagrożeń, czy uszkodzeń sprzętu. Zaburzeń nie da się całkowicie wyeliminować, należy jednak wykorzystać techniki i środki redukujące ich wielkość do akceptowalnego przez środowisko poziomu. Aby zapobiegać niebezpiecznym sytuacjom, każde urządzenie, instalacja czy system, w którym znajdują się elementy elektryczne i elektroniczne, powinny być tak skonstruowane, aby emitować jak najmniej zaburzeń. Ponadto, każde urządzenie czy instalacja powinny być tak skonstruowane, aby były maksymalnie odporne na zaburzenia emitowane przez inne urządzenia. Ta zdolność współistnienia urządzeń i możliwość ich poprawnej pracy to kompatybilność elektromagnetyczna.

Obecnie, najpowszechniej występującymi instalacjami będącymi źródłami pól elektromagnetycznych wysokich częstotliwości, mającymi istotny wpływ na ogólny poziom pól w środowisku są instalacje radiokomunikacyjne, takie jak stacje bazowe telefonii komórkowej oraz stacje radiowe i telewizyjne.

Pomiary emisyjności promieniowanej stanowią jedno z trudniejszych i bardziej kosztownych badań, ponieważ wymagają odpowiednio dużego stanowiska pomiarowego o dostatecznie niskim poziomie zaburzeń promieniowanych obcych, pochodzących od innych źródeł. Szczegółowe zalecenia norm kompatybilnościowych dotyczących emisyjności urządzeń zakładają, że pomiary emisji promieniowanej powinny być przeprowadzane na odpowiednim stanowisku pomiarowym tzw. otwartym poligonie pomiarowym (ang. OATS Open Area Test Site). Klasyczne pomiary promieniowania wykonuje się w dla częstotliwości od 30MHz do 1000MHz, stosując miernik zakłóceń z detektorem wartości quasi-szczytowej lub średniej. Miernik powinien spełniać wymagania określone w publikacji CISPR16 (rys. 1.1).

Analizując wyniki mierzone w otwartej przestrzeni (szczególnie w środowisku zurbanizowanym) można wyraźnie potwierdzić istnienie wyraźnych na tle całego widma prążków emisji obejmujących działanie technologii radiowych, telewizyjnych, radiotelefonii, transmisji telefonii komórkowej oraz technologii łączności bezprzewodowej. Wybrane technologie i pasma prezentuje tabela 1.1.



Rys. 1.1. Analizator FSP30 Rohde & Schwarz (9kHz-30GHz) z anteną dwustożkową, zdjęcie anteny logarytmiczno periodycznej (wyposażenie laboratorium EMC)

Tab.1.1. Wybrane technologie identyfikowane w widmie elektromagnetycznym wysokich częstotliwości

Lp	Pasmo	Częstotliwość [MHz]	Dedykowane przeznaczenie
1	FM	88–108	Nadajniki radiowe
2	TV3	174–233	Telewizja UHF, telewizyjne sieci kablowe
3	Tetra	380–400	Naziemna łączność radiowa (straż, policja)
4	TV4/5	470–830	Telewizja UHF, telewizyjne sieci kablowe
5	GSM 900	880–915, 925–960	Cyfrowa telefonia komórkowa
6	DCS 1800	1710–1785, 1805–1880	Cyfrowa telefonia komórkowa
7	DECT	1880–1900	Cyfrowa telefonia komórkowa
8	UMTS	1920–1980, 2110–2170	Cyfrowa telefonia komórkowa
9	WiFi 2G	2400–2500	Sieć bezprzewodowa
10	WiMAX	3400–3800	Szerokopasmowa radiowa transmisja danych
11	WiFi 5G	5150–5850	Sieć bezprzewodowa

Źródłem urządzeń łączności bezprzewodowej są anteny nadawcze (umieszczone np. na masztach, dachach budynków lub w ich wnętrzach) o dookólnej lub sektorowej (kierunkowej) charakterystyce promieniowania, zależnie od przeznaczenia i mocy stosowanych nadajników emitujące energię na odległości nawet kilkudziesięciu kilometrów, bądź przeznaczone do emisji słabszego promieniowania na niewielkie odległości, np. w obrębie jednego lub kilku pomieszczeń (np. routery, modemy).

W codziennym życiu ludzie są ciągle narażeni na oddziaływanie sztucznych źródeł pól elektromagnetycznych. Aby temu przeciwdziałać krajowe i międzynarodowe przepisy wymuszają na specjalnie do tego celu powołanych instytucjach nadzorowanie widma elektromagnetycznego. Działania są różnorakie. Wśród głównych wymienia się racjonalne nadzorowanie gospodarką widma elektromagnetycznego, wydawanie koncesji na wprowadzanie nowych źródeł nadawczych, terenowe badania emisji w środowisku, a także edukowanie.

1.2. Oddziaływanie instalacji OZE

Promieniowanie radiowe może niekorzystnie oddziaływać na infrastrukturę techniczną, (np. zakłócać funkcjonowanie urządzeń elektronicznych, stwarzając tym samym zagrożenia wypadkowe) lub na przyrodę nieożywioną (efekty termiczne w organizmach żywych, wzrost prawdopodobieństwa zachorowalności na białaczkę lub inne schorzenia nowotworowe). Każda nowa inwestycja (nawet ekologiczna) wymaga zatem kompleksowego działania zmierzającego do identyfikacji potencjalnego źródła i charakterystyki wytwarzanego przez nie promieniowania.

W przypadku inwestycji – instalacji wykorzystującej odnawialne źródła energii pod uwagę najczęściej brane są instalacje wiatrowe, fotowoltaiczne i elektrownie wodne. Rachunek ekonomiczny zwrotu inwestycji narzuca tu duże moce i duże wymiary tych instalacji. Przykładowo, farma wiatrowa to budowa kilku elektrowni wiatrowych wraz z infrastrukturą elektroenergetyczną, złożoną albo z kablowej albo napowietrznej sieci średniego napięcia (kilka- kilkadziesiąt kilowoltów).

Budowa farmy wiatrowej powoduje pojawienie się w środowisku czterech potencjalnych rodzajów źródeł pola elektromagnetycznego. Należą do nich:

- generator turbiny wiatrowej,
- transformator generatora turbiny,
- przewód umieszczony wewnątrz wieży,
- podziemna (napowietrzna) sieć kablowa.

Z dotychczasowo prowadzonych analiz oddziaływania inwestycji w zakresie generowania pola elektromagnetycznego wynika, iż elektrownie wiatrowe oraz infrastruktura kablowa linii elektroenergetycznych SN raczej nie stanowią zagrożenia dla środowiska w tym zakresie. Wpływ elektrowni wiatrowych i linii kablowych pozostaje na poziomie niedostrzegalnym, a w większości przypadków (w odległości kilkunastu- kilkudziesięciu metrów od tych elementów) zrównuje się z tłem elektromagnetycznym.

Głównymi potencjalnymi źródłami pola elektromagnetycznego, związanymi bezpośrednio z elektrownią wiatrową, są generator turbiny wiatrowej oraz transformator. W przypadku dużych elektrowni elementy te umieszczone są wewnątrz gondoli elektrowni na szczycie wieży, tj. na wysokości kilkudziesięciu metrów nad poziomem terenu. Transformator wyjściowy zlokalizowany jest w dolnej części wieży, a pomiędzy generatorem a transformatorem biegnie linia kablowa. Na wyjściu transformatora pojawia się napięcie średnie np. 30kV, które jest zazwyczaj przekazywane dalej do sieci energetycznej.

Ze względu na lokalizację turbiny wiatrowej na dużej wysokości poziom pola elektromagnetycznego generowanego przez elementy elektrowni, w poziomie terenu (na wysokości 1,8m) jest w praktyce niewielki. W przypadku urządzeń o mniejszych mocach, wymiary obiektu są mniejsze – więc generator jest bliższy punktowi pomiarowemu na ziemi, ale sam wiatrak jest wyposażony w generator o relatywnie niskiej mocy – więc zagrożenie jest z natury mniejsze. Dodatkowo należy jeszcze pamiętać,

że urządzenia znajdują się wewnątrz gondoli i są zamknięte w obudowie (często metalowej) a to ekranuje pole elektromagnetyczne.

Dodatkowym źródłem oddziaływania mogą być teletransmisyjne układy nadawcze, służące do sterowania i kontroli pracy elektrowni. Urządzenia takie charakteryzują się małą mocą nadajników oraz kierunkową charakterystyką promieniowania anten i nie stanowią raczej zagrożenia dla środowiska (w przypadku identyfikacji zagrożenia projektuje się w inwestycji wykorzystanie łączy kablowych (światłowodowych) do zapewnienia komunikacji pomiędzy systemem sterowania a elektrownią. Rozwiązanie takie eliminuje całkowicie wykorzystanie źródeł promieniowania elektromagnetycznego średnich i wysokich częstotliwości.

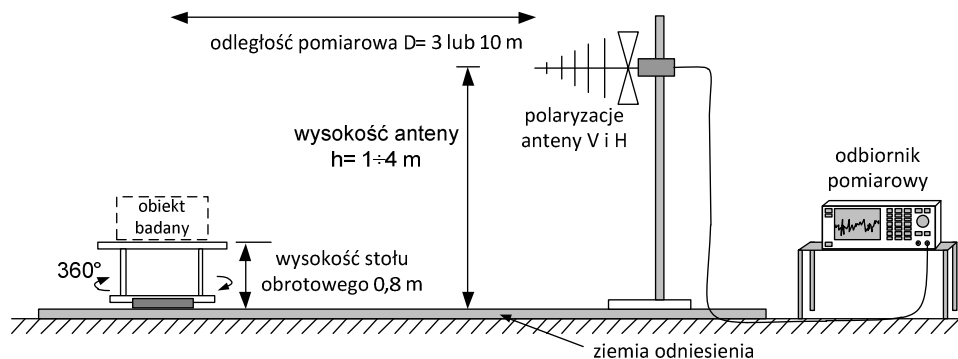
Kolejny możliwy wpływ farmy wiatrowej na otoczenie dotyczy wpływu na transmisję fal radiowych, tj. na odbiór radiowych sygnałów teleinformatycznych lub odbiór programów radiowo-telewizyjnych. Bezprzewodowe systemy komunikacyjne wykorzystują fale radiowe do przekazywania informacji pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. W rzeczywistości w niektórych przypadkach jest możliwe, że lokalizacja turbin wiatrowych może wpływać na odbiór tych informacji. Potencjalnie mogą wystąpić cztery różne mechanizmy wpływu farmy wiatrowej na system transmisji bezprzewodowej:

- interferencje elektromagnetyczne – mają miejsce wtedy, gdy generowane i emitowane przez siłownie wiatrowe promieniowanie elektromagnetyczne zawiera się w paśmie użytkowanym przez dane technologie
- efekt pola bliskiego – występuje, kiedy siłownie wiatrowe zlokalizowane są w bezpośrednim sąsiedztwie nadajników, a ich praca powoduje zmianę charakterystyki promieniowania nadajników
- efekt dyfrakcyjny – występuje wówczas, gdy lokalizacja farmy wiatrowej powoduje blokowanie fal radiowych na drodze do odbiornika, co w konsekwencji powoduje spadek mocy sygnału
- efekt odbiciowy – występuje, kiedy fale radiowe są odbijane od powierzchni turbin wiatrowych (szczególnie tych dużych).

W następstwie tych efektów sygnał jest zniekształcany co prowadzi do typowych sytuacji – trzaski w radio, zniekształcenia - skakanie obrazu w TV, zagłuszenia, trzaski w transmisji telefonicznej.

1.3. Pomiary emisyjności w EMC

Pomiary emisji zakłóceń służą ustaleniu zdolności urządzenia elektrycznego do emisji zakłóceń w znormalizowanych warunkach, aby móc porównać uzyskane wyniki pomiarów z dopuszczalnymi poziomami granicznymi.



Rys. 1.2. Stanowisko pomiarowe do badań emisji elektromagnetycznej, rzut odniesiony do geometrii poligону pomiarowego

Zakłócenia (zaburzenia) elektromagnetyczne w paśmie częstotliwości od 150kHz do 1GHz są określane jako zakłócenia (zaburzenia) radioelektryczne (RFI – Radio Frequency Interference). Generacja i rozkład energii zakłóceń w widmie częstotliwości oraz charakterystyki czasowe są zależne od struktury i parametrów elektrycznych urządzenia w zakresie wielkiej częstotliwości, jego charakterystyk czasowych oraz impedancji obciążającej źródło. Biorąc pod uwagę charakterystyki czasowe emisji pożądanej i niepożądaney oraz zakłóceń przewodzonych do środowiska, zakłócenia generowane przez dowolne źródła można podzielić na ciągłe i krótkotrwałe, natomiast ze względu na charakterystyki częstotliwościowe zakłócenia można podzielić na: wąskopasmowe i szerokopasmowe.

Klasyczne pomiary promieniowania wykonuje się w zakresie częstotliwości 30-1000MHz, a w zależności od wymagań realizuje się w polu bliskim lub dalekim. Wymaga to wykorzystania różnych dodatkowych akcesoriów pomiarowych. W przypadku pomiarów w polu dalekim wykorzystywany jest system anten pomiarowych zamontowanych na maszcie. Dla pola bliskiego wykorzystywany jest układ sond pola bliskiego dla składowej magnetycznej i elektrycznej.

Pomiary natężenia promieniowanego pola elektromagnetycznego należy wykonywać anteną umieszczaną w ściśle określonej odległości, mierzonej w płaszczyźnie poziomej od granicy umowną linią prostą, poprowadzoną wzdłuż prostego, geometrycznego obrysu, obejmującego badane urządzenie. Jeśli z powodu zbyt wysokiego poziomu tła zakłóceń lub z innych przyczyn nie można wykonywać pomiarów w odległości 10m, to dla urządzeń klasy B można je przeprowadzić w odległości 3m. W celu uzyskania zgodności wyników z pomiarem w znormalizowanej odległości 10m należy dokonać odpowiedniego przeliczenia, stosując współczynnik proporcjonalności malejący o 20dB na dekadę wzrostu odległości pomiarowej. Pomiary sondami wykonuje się w najbliższej odległości od źródła emisji w zakresie mili- i centymetrów.

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z podstawowymi zasadami pomiarów rozkładów przestrzennych natężeń pól elektromagnetycznych wokół urządzeń i instalacji elektroenergetycznych. Pomiary realizowane będą w zakresach niskich częstotliwości.

Przed badaniami zapoznać się z instrukcją stanowiskową BHP oraz instrukcjami obsługi badanych urządzeń i mierników. O wszelkich nieprawidłowościach w pracy przyrządów należy natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia.

2.1. Identyfikacja środowiska pomiarowego i badanych obiektów

Przed właściwą realizacją badań emisji elektromagnetycznej studenci powinni wykorzystując miernik TES-1361C oraz stację pogodową dokonać pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia w miejscu wykonywania pomiarów. Pomiary wykonać trzykrotnie, na początku zajęć, w połowie i pod koniec. W sprawozdaniu zamieścić wartości średnie. Udokumentować aparatem cyfrowym dokładne pozycje pomiarowe oraz badane obiekty.

2.2. Identyfikacja natężenia pola elektromagnetycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym i komorze ekranowanej

Pomiary natężenia pola elektromagnetycznego należy przeprowadzać cyfrowym analizatorem widma FSP30 firmy ROHDE&SCHWARZ w pomieszczeniu laboratorium EMC oraz w komorze ekranowanej pod nadzorem prowadzącego.



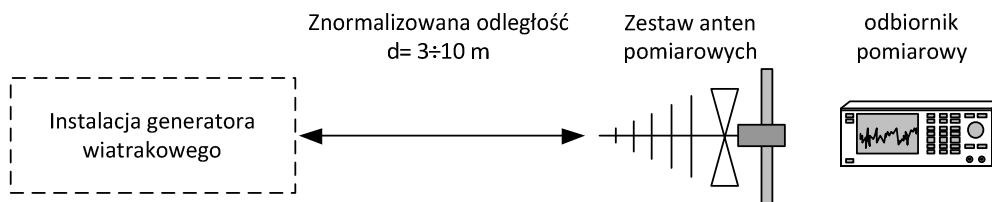
Rys.2.1. Zdjęcie analizatora widma RS FSP30 oraz komory ekranowanej

Anteny pomiarowe podłączane są do miernika poprzez złącze N. Miernik jest podłączony do komputera klasy PC łączem GPIB. W trakcie pomiaru każdy test będzie zarządzany z poziomu programu EMC32. Do pomiaru należy wykorzystać trzy anteny pomiarowe: dwustożkową HK116 (30–300MHz), logarytmiczno periodyczną HL223 (300–1000MHz) oraz rożkową HF906 (1–18GHz).

Badania w pomieszczeniu i w komorze należy przeprowadzić dla dwóch polaryzacji: poziomej i pionowej. Ustawienia szablonu pomiarowego w programie EMC32 są już ustawione, a zmiany dopuszcza się jedynie za zgodą prowadzącego. W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki pomiarów zapisane w programie EMC32. Zidentyfikować w zmierzonym widmie emisji typowe źródła (określenie pasma emisji radia, telewizji, wi-fi, GSM...).

2.3. Identyfikacja emisji elektromagnetycznej instalacji generatora wiatrakowego w zakresie wysokich częstotliwości

Pomiary emisji elektromagnetycznej należy przeprowadzić cyfrowym analizatorem widma FSP30 firmy Rohde&Schwarz pod nadzorem prowadzącego. Do zarządzania układem pomiarowym należy użyć oprogramowania EMC32 zainstalowanego na komputerze stacjonarnym w laboratorium. Układ pomiarowy prezentuje poniższy schemat.



Rys.2.2. Struktura układu pomiarowego do badania emisji elektromagnetycznej instalacji generatora

W czasie przeprowadzania pomiarów należy zapewnić możliwie najdokładniej trzymetrową odległość pomiędzy antena pomiarową a badaną instalacją. Zachować bezpieczną odległość innych urządzeń elektrycznych od stanowiska laboratoryjnego w celu zminimalizowania wpływu ich emisji na wartość zmierzoną. Badania przeprowadzić dla polaryzacji poziomej i pionowej. Każda z grup laboratoryjnych wybiera inną konfigurację ułożenia instalacji względem anteny (przód stanowiska, tył, bok lewy, prawy).

W sprawozdaniu z badań należy zamieścić wyniki pomiarów zapisane w programie EMC32. Zidentyfikować pasma w których pojawiają się zaburzenia generowane przez testowaną instalację.

2.4. Identyfikacja natężenia pola elektromagnetycznego na terenie kampusu

W ćwiczeniu będą przeprowadzone badania środowiskowe – natężenia pola elektromagnetycznego na terenie obiektu Aspect oraz na terenie kampusu. Szczegółowy plan miejsc pomiarowych zatwierdza prowadzący. Liczba pomiarów to maksymalnie 40 (ograniczenie bufora pamięci miernika). Do pomiaru należy wybrać miejsca ogólnodostępne na ludzi. Zachować szczególną ostrożność na ciągach

pieszych, parkingu i drogach wewnętrznych uczelni. Do badań należy wykorzystać cyfrowy miernik TES-92.



Wyszczególnione zakresy pomiarowe:
 20mV/m do 108.0V/m;
 53μA/m do 286,4mA/m,
 1μW/m² do 30,93W/m²,
 Zakres dynamiczny typowo 75dB
 Błąd bezwzględny przy 1 V/m i 59MHz: +/- 1,0dB
 Zakres roboczy temperatury: od 0°C do +50°C
 Zakres roboczy wilgotności: od 25% do 75%

Rys. 2.3. Miernik zakłóceń elektromagnetycznych TES-92

Miernik TES-92 jest przyrządem szerokopasmowym służącym do pomiarów promieniowania o wysokiej częstotliwości w zakresie od 50MHz do 3,5GHz. Posiada wbudowany bufor pamięci rejestrujący do 40 wartości pomiarowych.

Miejsca pomiaru udokumentować fotograficznie. Wartości pomiarowe należy zestawić w tabeli 2.2.

Tab. 2.2. Wartości pomiarowe wyznaczone w terenie

Lp	Miejsce pomiaru (przykładowo)	E [V/m]
1	Hol, parter, budynek Aspect	
2	Korytarz, parter ...	
3	Korytarz 1 piętro...	
4	Sala laboratoryjna....	
5	Sala wykładowa....	
6	Ciąg pieszy przed budynkiem	
7	Parking przed budynkiem	
8	Pomiar pod linią WN	
9	Pomiar na terenach zielonych	
	

Otrzymane wyniki z terenów otwartych porównać ze zmierzonymi w budynku. Skomentować rzeczywiste tłumienie emisji przez ściany budynku. Wyniki należy także skomentować odnosząc się do wartości normatywnych podanych w tabelach z dopuszczalnymi poziomami emisji dla środowiska (ćwiczenie 4).

Ćwiczenie 7

Badanie hałasu

1.1. Wprowadzenie

Dźwięk w najogólniejszej postaci można rozumieć jako zaburzenie o charakterze falowym, rozchodzące się w środowisku materialnym. Środowisko to, nazywane też ośrodkiem, musi charakteryzować się sprężystością i bezwładnością, przy czym może to być zarówno ciało stałe, ciecz jak i gaz. Ze zjawiskiem dźwięku jest związane pojęcie słyszenia czyli wrażenia słuchowego doświadczanego przez człowieka za pośrednictwem narządu słuchu.

Hałas w środowisku, według dyrektywy 2002/49/WE, to każdy niepożądany lub szkodliwy dźwięk powodowany przez działalność człowieka na wolnym powietrzu, w tym hałas emitowany przez środki transportu, ruch drogowy, ruch kolejowy, ruch samolotowy oraz hałas pochodzący z obszarów działalności przemysłowej. Ustawa Prawo ochrony środowiska definiuje hałas jako dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 16000 Hz.

Hałas, rozumiany jako drgania ośrodka sprężystego, działający na organizm człowieka jest zjawiskiem niepożądanym, nieprzyjemnym, dokuczliwym lub wręcz szkodliwym. Znajomość parametrów hałasu występującego w środowisku pracy i życia człowieka stanowi podstawę do oceny stwarzanego przez nie zagrożenia, a także podstawę do dalszej działalności mającej na celu ochronę przed tego typu zagrożeniami lub uciążliwościami.

Zakres spotykanych w środowisku poziomów dźwięku jest dość rozległy, począwszy od wartości progowej, czyli dźwięku o amplitudzie $20 \mu\text{Pa}$ wywołującego u zdrowego człowieka najłagodniejsze wrażenie słuchowe – stanowiącego poziom 0 dB, po wartości przy których ucho ludzkie przestaje odczuwać dźwięk, a zaczyna odczuwać ból – osiągając ciśnienie powyżej 20 Pa (poziom 120–130 dB).

Z prowadzonych badań w wielu ośrodkach naukowych wynika, że największym zagrożeniem pod względem hałasu jest hałas drogowy (łącznie z kolejowym), w dalszej kolejności wymienia się hałas lotniczy, przemysłowy (pracujące maszyny i urządzenia), hałas stadionów i innych miejsc imprez masowych.

1.2. Oddziaływanie hałasu na organizm ludzki

Hałas, niezależnie od sposobu powstawania, natężenia i czasu trwania, powoduje dyskomfort psychiczny i jest odczuwany jako uciążliwy. Wywołuje zmęczenie, złe samopoczucie. Może spowodować zmiany chorobowe w organizmie. Najbardziej

narażeni na skutki hałasu są mieszkańcy miast, którzy stanowią ponad 60% ludności kraju. Znaczny rozwój infrastruktury miast, bardzo duża liczba pojazdów, przy często spóźnionych inwestycjach układów komunikacyjnych są głównymi czynnikami degradującymi środowisko. Skutki tego odczuwa coraz większa liczba mieszkańców bądź to w postaci uciążliwości, bądź też w postaci częściowej utraty zdrowia.

Ujemne oddziaływanie hałasu na organizm człowieka można podzielić na dwa rodzaje wpływ hałasu, na narząd słuchu i pozasłuchowe działanie na cały organizm.



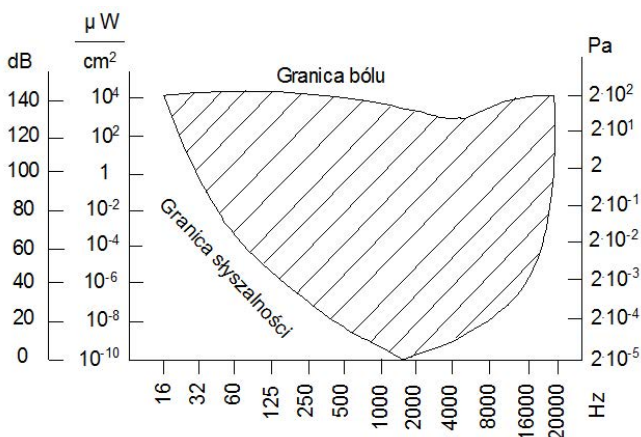
Rys. 1.1 Schemat ogólny narządu słuchu człowieka. 1) przewód słuchowy zewnętrzny, 2) błona bębenkowa, 3) młoteczek, 4) kowadełko, 5) strzemiączko 6) okienko owalne, 7) trąbka Eustachiusza, 8) ślimak, 9) nerw słuchowy

Narząd słuchu człowieka można podzielić na trzy zasadnicze grupy: ucho wewnętrzne, ucho środkowe i ucho zewnętrzne (rys. 1.1). Działanie polega na zbieraniu, wzmocnieniu i przetworzeniu fali dźwiękowej na impulsy elektryczne, które są zmieniane w mózgu na odpowiednie wrażenia słuchowe. Małżowina uszna zbiera fale dźwiękowe i kieruje je do przewodu słuchowego zewnętrznego (1), następuje tu pierwsze wzmocnienie, następnie fala trafia na błonę bębenkową (2), która działa jak membrana bębna, gdzie następuje znów wzmocnienie. Kolejne na drodze fali to młoteczek, kowadełko i strzemiączko (3,4,5 – najmniejsze kości w ludzkim organizmie), jest to ostatnie miejsce, gdzie następuje wzmocnienie, równocześnie w tym miejscu przekazywana są drgania do płynu wypełniającego ucho wewnętrzne. W ślimaku (8) przemieszczający się płyn (pod wpływem zmian napięcia dźwięku) porusza około 25000 komórek słuchowych, te zmieniają energię mechaniczną na elektryczną, która trafia do mózgu za pośrednictwem nerwu słuchowego (9), gdzie jest odpowiednio interpretowana i daje nam wrażenie słuchu. Trzeba zaznaczyć, że nerwy słuchowe są skrzyżowane na wysokości śródmózgowia, dzięki czemu informacja o bodźcach akustycznych z jednego ucha przekazywana jest do obu półkul mózgowych. Dzięki powyższym przekształceniom powstałe impulsy elektryczne przebywają drogę do pierwszorzędowej kory słuchowej, której funkcją jest analiza bodźców słuchowych, a człowiek słyszy dźwięk.

Sporadyczny głośny hałas o krótkim czasie trwania (impulsowy) może spowodować chwilowe zaburzenie słuchu. Z reguły słuch powraca do normalnego poziomu po dłuższym lub krótszym odpoczynku. Wydłużony okres narażenia człowieka na działanie głośnego hałasu może jednak doprowadzić do uszkodzenia wrażliwe rzeszki ucha środkowego, powodując trwałe uszkodzenie słuchu. Tego typu uszkodzenia słuchu są nieuleczalne. Takie uszkodzenie słuchu może być spowodowane ekspozycją na hałas o poziomie dźwięku (tzw. A-ważonym) przekraczającym 100dB.

Skutki działania hałasu kumulują się w czasie i są zależne od dawki energii akustycznej, którą określa iloczyn natężenia dźwięku i czasu trwania ekspozycji.

Czynnikiem, który w sposób istotny wpływa na relacje między warunkami akustycznymi a człowiekiem jest tzw. subiektywna wrażliwość na hałas. Dotyczy ona zarówno fizjologicznych predyspozycji odbioru dźwięku, reakcji emocjonalnych jak i subiektywnych odczuć. Odczuwanie dźwięku jako hałasu zależy więc zarówno od cech indywidualnych każdego człowieka jak też od cech fizycznych dźwięku. Rysunek 2 przedstawia obszar słyszalności narządu słuchu człowieka. Wśród ludzi stwierdza się ogromne różnice indywidualne stąd ocena hałasu zależy od wieku, wrażliwości, stanu zdrowia, odporności psychicznej i chwilowego nastroju człowieka.



Rys. 1.2. Obszar słyszalności narządu słuchu człowieka

Subiektywne odczuwanie hałasu przejawia się m. in. tym, że hałas wytwarzany przez daną osobę może nie być dla niej dokuczliwy, natomiast dla osoby postronnej może być męczący lub wręcz nieznośny. Dokuczliwość hałasu dodatkowo potęguje się wówczas, jeśli wystąpi on niespodziewanie lub nie można określić kierunku, z którego się on pojawi. Podstawowymi cechami fizycznymi dźwięku wpływającymi na jego odczuwanie są: poziom, częstość występowania, czas trwania oraz charakterystyka widmowa. Przykładową skalę subiektywnej uciążliwości hałasu komunikacyjnego przedstawia tabela 1.1.

Tab. 1.1. Skala subiektywnej uciążliwości hałasu

uciążliwość	L_{Aeq} [dB]
mała	< 52
średnia	52...62
duża	63...70
bardzo duża	> 70

Tab. 1.2. Tabela przedstawiająca poziomy hałasu i jego wpływu na organizm ludzki

<i>Wrażenia słuchowe</i>	<i>Dźwięk, hałas</i>	<i>Głośność dB(A)</i>	<i>Wpływ na organizm</i>
niesłyszalny	bardzo cichy zegarek	10	próg słyszalności
	spadający liść	10	
	dźwięki okolic wiejskich	10	próg pomiarowy
bardzo cichy	studio radiowe	14	
	zegarek kieszonkowy	15-20	
	kroki po miękkiej wykładzinie, szelest liści	20	
	woda w kranie	15-25	przyjemny poziom nawet przy spaniu
	słaby deszcz	20-25	
	szept	25-30	bezpieczny poziom zdrowotny
	rozmowa z bliska	30	
cichy	lodówka	30-40	
	cicha rozmowa	40	zalecany przy koncepcyjnej pracy umysłowej
	cicho grające radio	40-50	przy odtwórczej pracy umysłowej
	śpiew ptaków	40-50	
	lekkie zamykanie drzwi	45-55	
	półgłówna rozmowa (2 m)	50	możliwe reakcje psychiczne i wegetatywne
	spokojna ulica	50	
głośny	pralka (1 m)	30-60	
	rozmowa przez telefon	55	
	odkurzacz (1m)	60	nieprzyjemne odczucia
	normalna rozmowa (2 m)	60	
	włączone radio, telewizor	60	
	silne zamknięcie drzwi	60-70	utrudnia rozmowę
	głośna rozmowa	70	podrażnia nerwy
bardzo głośny	źle słyszalna rozmowa telefoniczna	75	
	wirówka w pralce (1 m)	75-80	
	silny ruch uliczny (10 m)	80	maksymalny przy pracy fizycznej
	głośno grające radio	80-90	poziom zagrażający zdrowiu
	głośny krzyk	90	początek uszkodzenia słuchu
	krzyk dzieci (1m)	95	
nie do zniesienia	ręczna piła tarczowa (1 m)	100	
	bardzo głośne radio	100	
	młot pneumatyczny (1 m)	100-115	poziom groźny dla zdrowia
	syrena fabryczna (50 m)	110	uszkodzenie centralnego systemu nerwowego
	samolot odrzutowy (średnia wysokość)	110-120	próg bólu
	samolot odrzutowy (mała wysokość)	120-130	
	eksplozja	od 150	paraliż i śmierć organizmu

Granica podziału między hałasem dokuczliwym, a niedokuczliwym jest płynna i zależna nie tylko od rodzaju słyszanych zakłóceń, ale również od odporności nerwowo-psychicznej człowieka, jego chwilowego nastroju lub rodzaju wykonywanej pracy. Zestawienie poziomów hałasu i jego wpływu zestawiono w tabeli 1.2.

Nawet stosunkowo niewielkie zaburzenie słuchu może być uciążliwe, powodując np. trudności w komunikowaniu się. Pierwszym objawem uszkodzenia słuchu jest uciążliwy szum w uszach. Ponadto bodźce słuchowe poprzez połączenia drogi słuchowej z korą mózgową oddziałują na ośrodkowy układ nerwowy, a za jego pośrednictwem na układ gruczołów wydzielania wewnętrznego, immunologiczny, powodując zaburzenia funkcji wielu narządów wewnętrznych (układ oddechowy, układ krążenia, przewód pokarmowy i inne). Przekłada się to na osłabienie organizmu, wpływa destrukcyjnie na system nerwowy oraz, wywołuje apatię, agresję, poczucie bezsenności. Silne bodźce akustyczne o poziomach ciśnienia akustycznego 110–120dB wpływają na funkcje narządów zmysłów np. zaburzenia wzroku, równowagi i dotyku. Infradźwięki (dźwięki o częstotliwości poniżej 20Hz), wyczuwalne w określonym zakresie mogą również powodować zaburzenia reakcji, senność oraz ogólne złe samopoczucie człowieka. Ultradźwięki z kolei (dźwięki o częstotliwości powyżej 20kHz), przy długotrwałym oddziaływaniu na narząd słuchu mogą spowodować jego uszkodzenie.

1.3. Przepisy prawne

Ocenę zagrożenia hałasem prowadzi się w odniesieniu do ochrony środowiska naturalnego i ochrony w miejscu pracy. Ocena taka wykonywana jest na podstawie rzeczywistych wyników pomiarów oraz symulacji komputerowych. Obliczenia ilustrowane są graficznie na mapach hałasu, które określają zasięg hałasu, co umożliwia dalszą ocenę hałasu na określonym (najbliższym źródłu) terenie. Ocenę taką prowadzi się w oparciu o normy i przepisy prawne.

Aktualnie obowiązującym aktem prawnym określającym dopuszczalne poziomy hałasu jest rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z dnia 5 lipca 2007 r.). Rozporządzenie ustala dopuszczalne poziomy hałasu powodowanego przez poszczególne grupy źródeł w zależności od przeznaczenia terenu (tab. 1.4).

Jednocześnie należy pamiętać, że istnieje jeszcze szereg obowiązujących regulacji prawnych zarówno krajowych jak i międzynarodowych, jednoznacznie określających zasady kwalifikacji i lokalizacji przedsięwzięć inwestycyjnych, a więc kształtowania ładu przestrzennego z uwzględnieniem zagrożeń dla środowiska, ludzi i krajobrazu.

Wykaz ważniejszych dyrektyw, rozporządzeń, ustaw i norm zestawiono w tab. 1.3. Z racji ograniczeń wydawniczych zebrano najważniejsze, powiązane z podstawowymi pomiarami hałasu, ochroną środowiska i procesem planowania i realizowania inwestycji OZE. Szczegółowy wykaz aktualnych aktów prawnych jest dostępny na stronach Kancelarii Sejmu (<http://isip.sejm.gov.pl/prawo>).

Tab. 1.3. Wybrane akty prawne dotyczące hałasu, dopuszczalnych poziomów i metod jego pomiaru

Akt prawny	Numer	Tytuł aktu prawnego
Dyrektywy	2002/49/WE	Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 roku odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku
	2000/14/WE	Dyrektywa 2000/14/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2000 roku o zbliżaniu przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących emisji hałasu do otoczenia przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń.
	2005/88/WE	Dyrektywa 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 grudnia 2005 roku zmieniająca dyrektywę 2000/14/WE w sprawie zbliżania ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń.
Wartości dopuszczalne	Dz.U. 2007 nr 120 poz. 826	Rozporządzenie Ministra Środowiska z 14 VI 2007 r. w sprawie wartości dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku
	Dz.U. 2002 nr 217 poz. 1833	Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29.X.2002r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy
Pomiary hałasu w środowisku	Dz.U. 2008 nr 82 poz. 500	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 kwietnia 2008r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących rejestru zawierającego informacje o stanie akustycznym środowiska
	Dz.U. 2008 nr 215 poz. 1366	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19.11.2008r. w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją instalacji lub urządzenia i innych danych oraz terminów i sposobów ich prezentacji
Pomiary hałasu maszyn i urządzeń	Dz.U. 2005 nr 263 poz. 2202	Rozporządzenie Ministra Gospodarki a dnia 21 grudnia 2005 roku w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska
	Dz.U. 2007 nr 105 poz. 718	Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 maja 2007r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska
Ochrona środowiska	Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627	Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska
	Dz.U. 2001 nr 100 poz. 1085	Ustawa z dnia 27 VII 2001 r. o wprowadzeniu ustawy - Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw
	Dz.U. 2002 nr 179 poz. 1498	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 października 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinien odpowiadać program ochrony środowiska przed hałasem
Akty dotyczące ryzyka zawodowego	Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318	Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne
	Dz.U. 2005 nr 73 poz. 645	Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy
	Dz.U. 2004 nr 29 poz. 255	Ustawa z dnia 8 stycznia 2004 r. o ratyfikacji Konwencji nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy dotyczącej ochrony pracowników przed zagrożeniami zawodowymi w miejscu pracy, spowodowanymi zanieczyszczeniami powietrza, hałasem

		i wibracjami, przyjętej w Genewie dnia 20 czerwca 1977 r.
	Dz.U. 2002 nr 197 poz. 1667	Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 X 2002r. w sprawie szczegółowych warunków, jakim powinna odpowiadać prognoza oddziaływania na środowisko dotycząca projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego
Normy	PN-81/N-01306	Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne
	PN-N-01307	Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów
	PN-92/M-35200	Dopuszczalne poziomy dźwięku w pomieszczeniach obiektów energetycznych
	PN-T-06460:1979	Mierniki poziomu dźwięku - Ogólne wymagania i badania.
Hałas środowiskowy – przemysłowy	PN-ISO 1996-1	Seria norm:
	PN-ISO 1996-2	Akustyka. Opis i pomiary hałasu środowiskowego.
	PN-ISO 1996-3	
	PN-N-01341:2000	Hałas środowiskowy. Metody pomiaru i oceny hałasu przemysłowego
	PN-ISO 9613-1:2000	Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę
	PN-N-01339:2000	Hałas. Metody pomiaru i oceny hałasu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia
Moc akustyczna	PN-EN ISO 3743-1	Akustyka. Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu. Metody techniczne dotyczące małych, przenośnych źródeł w polach pogłosowych. Metoda porównawcza w pomieszczeniach pomiarowych o ścianach odbijających dźwięk (zastępuje PN-84/N-01331)
	PN-ISO 8297:2003	Akustyka. Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej zakładów przemysłowych z wieloma źródłami hałasu w celu oszacowania wartości poziomu ciśnienia akustycznego w środowisku. Metoda techniczna
	PN-EN ISO 9614-1	Akustyka. Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów natężenia dźwięku. Metoda stałych punktów pomiarowych.
	PN-85/N-01333	Hałas. Dokładne metody określania poziomu mocy akustycznej hałasu maszyn w komorze bezechowej i w otwartej przestrzeni
Hałas na stanowisku pracy	PN-EN ISO 11200 do PN-EN ISO 11204	Seria norm: Akustyka. Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia.
Hałas maszyn	PN-EN 27574-1 do PN-EN 27574-4	Seria norm: Akustyka. Statystyczne metody określania i weryfikowania deklarowanych wartości emisji hałasu maszyn i urządzeń.
	PN-IEC 1063:1996	Akustyka. Pomiar hałasu powietrznego emitowanego przez turbiny i maszyny napędzane
Akustyka budowlana	PN-87/B-02151.01	Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Wymagania ogólne i środki techniczne ochrony przed hałasem
	PN-87/B02151.02	Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach
	PN-87/B-02156	Akustyka budowlana. Metody pomiaru poziomu dźwięku A, w budynkach

Tab. 1.4. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne

	Przeznaczenie terenu	Drogi lub linie kolejowe - źródło hałasu		Pozostałe obiekty i grupy źródeł hałasu	
1	Obszary ochrony uzdrowiskowej	50	40	40	35
	Tereny szpitali poza miastem				
2	Tereny wypoczynkowo-rekreacyjne poza miastem	55	45	45	40
	Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej				
	Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży				
	Tereny domów opieki				
	Tereny szpitali w miastach				
3	Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego	60	50	50	40
	Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi				
	Tereny zabudowy zagrodowej				
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55	55	45

Najpowszechniej wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii na świecie jest wiatr, będący źródłem energii elektrycznej produkowanej przez turbiny w elektrowniach wiatrowych. Na znacznym obszarze Polski średnioroczna prędkość wiatru wynosi 4 m/s, czyli jest wystarczająca dla eksploatacji turbin. Wprowadzenie do środowiska farm wiatrowych, zajmujących czasami znaczne obszary, wiąże się z pewnymi uciążliwościami dla środowiska. Najważniejsze z nich to hałas oraz bezpośrednie zagrożenie życia ptaków w przypadku ich kolizji z wirującymi łopatami turbin. Źródłem hałasu są przede wszystkim obracające się łopaty oraz w mniejszym stopniu wirnik generatora i przekładnia.

W celu określenia oddziaływania takiego źródła hałasu na otoczenie przeprowadzane są analizy uwzględniające zjawiska związane m.in. z warunkami propagacji fali akustycznej, pochłanianiem przez grunt i powietrze, wilgotnością i temperaturą powietrza, odbiciem i załamaniem fali dźwiękowej. Zarówno obliczenia symulacyjne jak i wyniki pomiarów poziomów hałasu przyrównuje się do wartości dopuszczalnych – środowiskowych lub stanowiskowych.

1.4. Pomiary hałasu

Ze względu na cel (określenie emisji hałasu maszyn lub ocena narażenia ludzi) metody pomiarów hałasu dzieli się na metody pomiarów hałasu maszyn lub metody pomiarów hałasu w miejscach przebywania ludzi.

Metody pomiarów hałasu maszyn stosuje się w celu określania wielkości charakteryzujących emisję hałasu maszyn, rozpatrywanych jako oddzielne źródła hałasu

w ustalonych warunkach doświadczalnych i eksploatacyjnych. Zgodnie z dyrektywami europejskimi wielkościami tymi są: poziom mocy akustycznej lub poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy maszyny lub w innych określonych miejscach. Wybór wielkości zależy od wartości emisji hałasu. Poziom mocy akustycznej powinien być podany, gdy uśredniony poziom ciśnienia akustycznego emisji skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (zwany równoważnym poziomem dźwięku A) na stanowisku pracy przekracza 85dB.

Metody pomiarów i oceny hałasu w miejscach przebywania ludzi stosuje się w celu ustalenia stanu narażenia na hałas na stanowiskach pracy i w określonych miejscach przebywania ludzi względem źródeł hałasu, niezależnie od ich rodzaju i liczby. Wyniki pomiarów hałasu służą przede wszystkim do porównania istniejących warunków akustycznych z warunkami określonymi przez normy i przepisy higieniczne, a także do oceny i wyboru planowanych lub realizowanych przedsięwzięć ograniczających hałas.

Metody pomiaru wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy są określone w normach: PN-EN ISO 9612:2009, PN-N-01307:1994 i PN-ISO 1999:2000. Do pomiaru wielkości charakteryzujących wszystkie rodzaje hałasu (ustalonego, nieustalonego i impulsowego) powinny być stosowane dozymetry hałasu lub całkujące mierniki poziomu dźwięku klasy dokładności 1 lub 2 spełniającej wymagania normy PN-IEC EN 61672-1:2005 i PN-EN IEC 61252:2000.

Pomiary wielkości charakteryzujących hałas mogą być wykonywane w ciągu dnia roboczego w wybranych okresach typowej ekspozycji (metodą próbkowania) lub podczas wykonywania określonych zadań i czynności.

Ocenę narażenia na hałas i ocenę ryzyka zawodowego związanego z tym narażeniem przeprowadza się na podstawie porównania wyników pomiarów wielkości charakteryzujących hałas z wartościami najwyższych dopuszczalnych natężeń (NDN) i wartościami progów działania, przy których pracodawca jest zobowiązany podjąć określone działania prewencyjne. Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku pracy (wartości NDN) zestawiono w tabeli 1.5.

Tab. 1.5. Dopuszczalne wartości parametrów hałasu słyszalnego w środowisku pracy

Parametry hałasu	Wartość progu działania [dB]	NDN ochrona zdrowia [dB]	NDN dla młodocianych [dB]	NDN dla kobiet w ciąży [dB]
Poziom ekspozycji odniesiony do 8-godz. dnia pracy $L_{Eq, 8h}$	80	85	80	65
Poziom ekspozycji odniesiony do tygodnia pracy L_{EX}	80	85	80	65
Max. poziom dźwięku $L_{A, max}$	-	115	110	110
Szczytowy poziom dźwięku $L_{C, peak}$	135	135	130	130

Wartość graniczną, po przekroczeniu której hałas zaczyna być szkodliwy została ustalona na 85dB ($L_{Eq, 8h}$). Jest to dawka hałasu dla normalnego, 8-godzinnego dnia pracy. W przypadku codziennego przebywania w środowisku, w którym natężenie

dźwięku przekracza wyżej wymienioną wartość, ochrona słuchu staje się koniecznością. Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) nie powinien przekraczać 115dB a szczytowy poziom dźwięku C (L_{Cpeak}) nie powinien przekraczać 135dB.

Ocena potencjalnego ryzyka utraty słuchu w danym środowisku hałasowym zależy od dwóch parametrów - poziomu hałasu i czasu jego trwania. Określenie powyższych wartości dla hałasu przy stałym poziomie jest łatwe. Dla hałasu zmiennego w czasie, wartość poziomu ciśnienia akustycznego musi być okresowo próbkowana w dokładnie określonych odcinkach czasu zwanych czasem próbkowania. W wyniku takich pomiarów wyznacza się pojedynczą wartość zwaną równoważnym poziomem dźwięku i oznaczaną Leq , wyrażającą tą samą energię i jednocześnie to samo potencjalne ryzyko uszkodzenia słuchu, co mierzony hałas o zmiennym poziomie.

Pojęcie równoważnego (ekwiwalentnego) poziomu dźwięku A będącego wypadkową skorygowanych poziomów ciśnień akustycznych danego sygnału w poszczególnych pasmach oktawowych częstotliwości. Korekcja jest wykorzystywana w celu przybliżenia wyniku pomiaru do wrażenia słuchowego odbieranego przez ucho człowieka. Ekwiwalentny poziom dźwięku A można ocenić przez pomiar miernikiem z oktawowym filtrem akustycznym i układem ważenia lub obliczyć na podstawie przebiegu poziomu ciśnień akustycznych:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i + K_{Ai})} \text{ dB(A)}$$

gdzie: L_{Aeq} - poziom dźwięku A [dB(A)],

L_i - poziom ciśnienia akustycznego, w i -tym paśmie częstotliwości, [dB],

K_{Ai} - poprawka wg charakterystyki A , dla i -tego pasma częstotliwości, [dB],

n - liczba pasm oktawowych.

Hałas, którego poziom dźwięku A w określonym miejscu zmienia się nie więcej niż o 5dB, jest hałasem ustalonym, w przeciwnym przypadku występuje hałas o poziomie nieustalonym. Natomiast hałas składający się z jednego lub kilku impulsów dźwiękowych o czasie trwania każdego z nich mniejszym niż 0,2s nazywa się hałasem impulsowym. Wskazanie przyrządu pomiarowego w punkcie pomiarowym, nie wywołane mierzonym hałasem, nosi nazwę poziomu tła.

Dla hałasu ustalonego, średni poziom hałasu z pomiarów elementarnych wyznacza się z zależności:

$$L_{Aeq,Te} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{Ai} \text{ dB}$$

gdzie: n - liczba pomiarów elementarnych w serii;

L_{Aeq} - wynik pomiaru elementarnego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A , dB.

Dzienną ekspozycję na stanowisku pracy, to znaczy ekspozycję normalizowaną do ośmiu godzin, wyznacza się z zależności Poziom ekspozycji odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy - hałas ustalony

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB}$$

gdzie: $L_{Aeq,Te}$ – równoważny, średni poziom dźwięku;
 T_e – łączny czas narażenia pracownika na hałas;
 T_0 – czas pracy 8h.

Dla hałasu niestalonego, równoważny poziom dźwięku dla każdej serii pomiarowej wyznacza się z zależności:

$$L_{Aeq,Ti} = 10 \lg \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m 10^{0,1L_{Ai}} \right] \text{ dB}$$

gdzie: L_{Ai} – poziom dźwięku A dla każdego odczytu w serii
 m – liczba próbek w serii w czasie T_i .

Równoważny poziom dźwięku dla całego pomiaru:

$$L_{Aeq,Te} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_e} \sum_{i=1}^n (T_i \cdot 10^{0,1L_{Aeq,Ti}}) \right] \text{ dB}$$

gdzie: T_e – łączny czas narażenia pracownika na hałas;
 n – liczba serii pomiarowych;
 T_i – czas trwania jednej serii pomiarowej;
 $L_{Aeq,Ti}$ – równoważny poziom dźwięku w każdej serii.

Poziom ekspozycji na hałas niestalonego odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy $L_{EX,8h}$ wyraża się analogiczną zależnością:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB}$$

Do analizy oceny ryzyka zawodowego wykorzystywany jest współczynnik krotkości przekroczenia NDN – k :

$$k = 10^{0,1(L-NDN)}$$

gdzie: L – wartość natężenia dźwięku ($L_{EX,8h}$)
 NDN – najwyższe dopuszczalne natężenie

Tab. 1.6. Ocena ryzyka zawodowego

Oszacowany poziom ryzyka	Krotność normatywu k
Małe	$k < 0,5$
Średnie	$0,5 \leq k \leq 1$
Duże	$k > 1$

1.5. Aparatura pomiarowa

Na stanowisku laboratoryjnym do badania hałasu wykorzystywany jest miernik natężenia dźwięku i rejestrator danych SL-451 (rys. 1.3). Jest to cyfrowy miernik poziomu natężenia dźwięku zgodny z normą EN 61672-1 klasa 2. Miernik dysponuje

rejestratorem danych i złączem USB. Odporna obudowa z gumową ramką ochronną sprawia, że urządzenie nadaje się do użytku w zewnętrznych warunkach. Zakres pomiarowy wynosi od 30dB do 130dB w funkcji automatycznego zakresu. Wbudowany rejestrator danych umożliwia zapisanie nawet 32 000 wartości, które następnie można edytować na komputerze PC przy pomocy dołączonego oprogramowania. Umożliwia to tym samym długoterminowe monitorowanie.

Częstotliwość sygnału pomiarowego jest ważona za pomocą dwóch krzywych odniesienia. **Krzywa A** przedstawia charakterystyczną linię słuchu ludzkiego ucha. Ludzie odbierają głębokie dźwięki, jako cichsze od tonów średnich i wysokich. **Krzywa C** mierzy liniowe widmo częstotliwości i bez filtra (faktyczny poziom dźwięku). Aktywowanie odpowiedniego filtra realizowane jest poprzez naciśnięcie przycisku „A/C” i potwierdzone na wyświetlaczu za pomocą symbolu „dBA” lub „dBC”. Decybelomierz posiada 4 zakresy pomiaru. Dolny zakres jest od 30dB do 80dB, średni zakres od 50dB do 100dB, a górny zakres od 80dB do 130dB. Zakres automatyczny jest od 30dB do 130dB. Sygnał może być mierzony za pomocą dwóch interwałów pomiarowych. Dla szybko zmieniających się poziomów dźwięków (syrena, wystrzał itp.) należy ustawić ocenę czasu na „FAST”. Czas trwania pomiaru wynosi 125ms/pomiar operacji. Dla wolnych i stałych poziomów dźwięku (hałas, brzęczenie, itp.) ocena czasu musi być ustawiona na „SLOW”. Czas trwania pomiaru wynosi 1s/pomiar operacji.

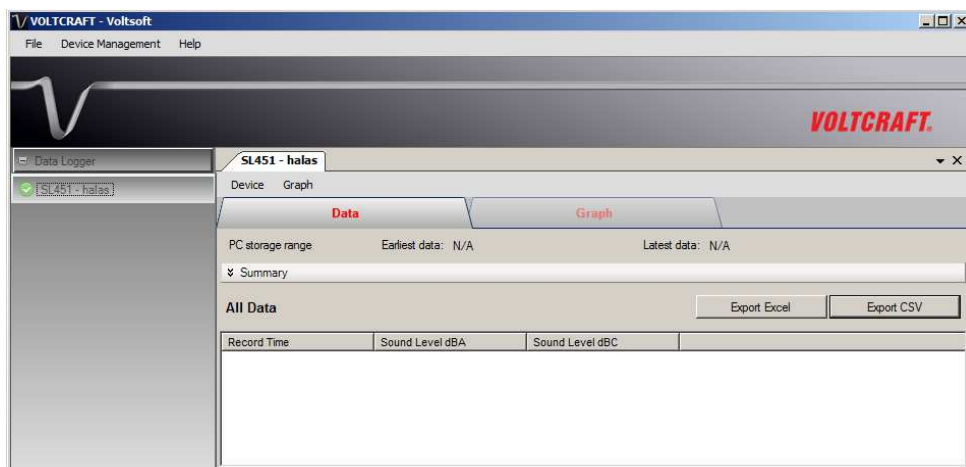


Charakterystyka urządzenia:
Zakres pomiarowy: 30–130dB A/C
Dokładność: $\pm 1,4$ dB przy 1kHz
Filtry korekcyjne A i C
Ocena czasu F/S (szybko/wolno)
Zakres częstotliwości 31,5Hz–8kHz
Rozdzielczość 0,1dB
Czas reakcji 125/1000ms
Dokładność $\pm 1,4$ dB (94dB/1kHz)

Rys. 1.3. Miernik natężenia dźwięku i rejestrator danych SL-451

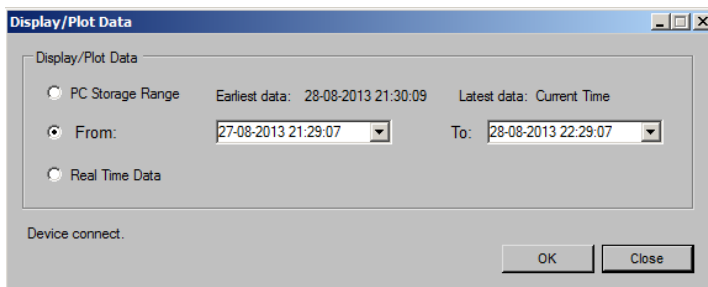
Oprogramowanie VoltSoft umożliwia pomiary i ocenę zgodną z DIN 15905-5 do zapobiegania uszkodzeniom słuchu wywoływanym wysoką emisją dźwięku. Dane pomiarowe można eksportować w tabeli (np. Excel[®]) lub edytować w tekście, wszystkie dane pomiarowe można prezentować graficznie. Na komputerze wchodzącym w skład stanowiska laboratoryjnego zainstalowana jest wersja standardowa pro-

gramu. Do uruchomienia programu należy wykorzystać skrót umieszczony na *Pulpicie*. Po uruchomieniu programu otworzy się okno podstawowe z informacją o aktywnym połączeniu z miernikiem (rys. 1.4).



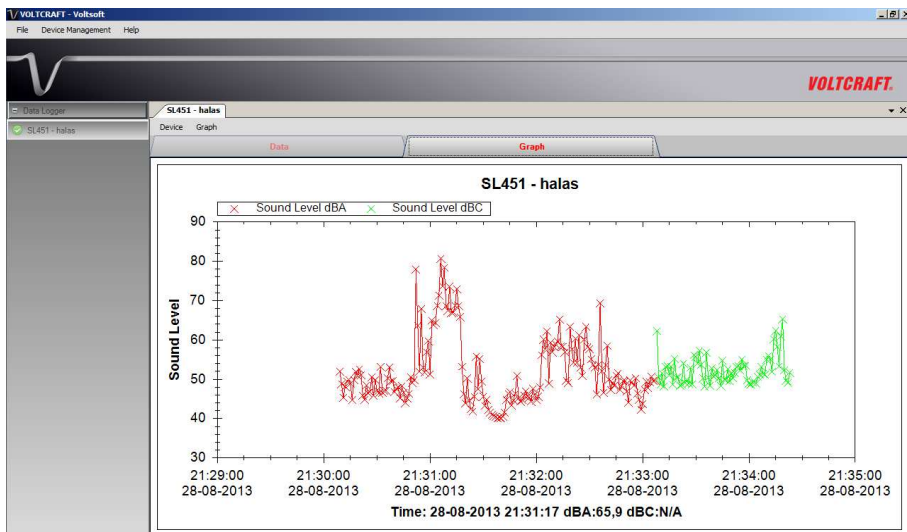
Rys. 1.4. Podstawowe okno programu VoltSoft

Pomiary natężenia dźwięku mogą być przeprowadzane w kilku trybach. Do wyboru osoby przeprowadzającej pomiar jest okno ustawień (rys. 1.5) w którym wybiera się zrzut danych z pamięci miernika do programu lub pomiar w trybie rzeczywistym (on-line).



Rys. 1.5. Okno zmian trybu pomiarowego

Zebrane dane pomiarowe można wyeksportować w postaci tabelarycznej do dalszej obróbki w arkuszu kalkulacyjnym lub wyeksportować graficznie z panelu graficznego (rys. 1.6).



Rys. 1.6. Widok na panel graficzny prezentujący przykładowe wyniki badań

2. INSTRUKCJA WYKONANIA ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z techniką pomiaru natężeń hałasu. Pomiary realizowane będą miernikami analogowymi i cyfrowym.

Przed badaniami zapoznać się z instrukcją obsługi badanych urządzeń i mierników. Chronić mikrofon przed działaniem kurzu, pyłu, zawilgocenia, silnych podmuchów powietrza i wstrząsów. O wszelkich nieprawidłowościach w pracy przyrządu należy natychmiast powiadomić prowadzącego zajęcia. Pomiary zewnętrzne należy przeprowadzać w korzystnych warunkach atmosferycznych. Podczas pomiarów średnia prędkość wiatru nie powinna przekraczać 5 m/s. Dla prędkości wiatru powyżej 3 m/s bezwzględnie zaleca się stosować mikrofonową osłonę przeciwwietrzną.

Podczas trwania wszystkich pomiarów unikać rozmów w pobliżu miernika gdyż wyniki pomiarów mogą zostać zawyżone. Zwracać uwagę na hałas pochodzący z zewnątrz budynku oraz hałas generowany przez inne grupy studentów.

2.1. Identyfikacja środowiska pomiarowego

Wykorzystując miernik TES i stacje pogodową dokonać pomiaru czynników warunkujących rozprzestrzenianie się dźwięku w środowisku: wilgotności, temperatury i ciśnienia atmosferycznego w miejscu wykonywania pomiarów. Pomiary przeprowadzić w pomieszczeniu laboratoryjnym i w terenie otwartym przed budynkiem. W sprawozdaniu zamieścić wartości średnie. Dodatkowo wykorzystując aparat cyfrowy dokumentować dokładne pozycje pomiarowe (w szczególności realizowane na zewnątrz laboratorium).

Tab. 2.1. Wartości charakteryzujące środowisko pomiarowe

	Środowisko zamknięte		Środowisko otwarte	
	Wilgotność [%]	Temperatura [°C]	Wilgotność [%]	Temperatura [°C]
1				
2				
3				
	Średnia:	Średnia:	Średnia:	Średnia:
	Ciśnienie atmosferyczne			

2.2. Pomiar hałasu wybranego urządzenia (zespołu napędowego)

Należy umieścić źródło dźwięku w komorze ekranowej. Każda z grup studenckich będzie miała inne źródło dźwięku (AGD, zespół napędowy, wiatrak, kompresor).

Wykonać serie pomiarów natężenia dźwięku w odległości 1 od źródła (3 serie aby uniknąć błędów grubych związanych z przypadkowymi chwilowymi źródłami hałasu). Pomiary wykonać w minimum dwóch punktach.

Zmierzyć poziom hałasu emitowanego przez badane urządzenie w określonych punktach pomiarowych w funkcji odległości od źródła dźwięku (max. 3m).

Zmierzyć natężenie tła jakie występuje w komorze ekranowej gdy źródło dźwięku jest wyłączone, porównać je z tłem jakie jest w pomieszczeniu laboratorium. Wyniki zestawić w tabelach lub na wydrukach z pamięci miernika lub komputera.

Tab. 2.2. Wyniki pomiarów hałasu urządzenia w komorze ekranowej

	Punkt pomiarowy 1	Punkt pomiarowy 2	Punkt pomiarowy 3
L_{A1} [dB]			
L_{A2} [dB]			
L_{A3} [dB]			
Wartość średnia			
L_{Amax}			

Tab. 2.3. Wyniki pomiarów hałasu w funkcji odległości od urządzenia w komorze ekranowej

Odległość r [m]	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
Natężenie dźwięku L_A [dB]									

2.3. Analiza hałasu w pasmach jednooktawowych

Badaniu poddane zostanie urządzenie wskazane przez prowadzącego (każda z grup będzie miała inne źródło dźwięku – sprzęt AGD, zespół napędowy, wiatrak, kompresor). Przy pomocy całkującego miernika poziomu dźwięku Brüel & Kjær typ 2236 (rys. 2.2) należy przeprowadzić analizę hałasu w pasmach jednooktawowych. W wybranych i uzgodnionych z prowadzącym ćwiczenia punktach przeprowadzić potrójne serie pomiarów. Pomiarów przeprowadzić w komorze ekranowanej. Każdy punkt pomiarowy musi być oddalony od źródła dźwięku o 1m. Wyniki zestawić w tabeli i przedstawić graficznie w formie charakterystyki częstotliwościowej.



Rys. 2.2. Miernik poziomu dźwięku Brüel & Kjær typ 2236

Tab. 2.4. Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego urządzenia (układu napędowego)

Lp	punkt pomiarowy	pasma jednooktawowe o częstotliwościach [Hz]							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	1								
	2								
	3								

2.4. Określenie poziomu ekspozycji na hałas

Lokalizację stanowiska pomiarowego wskazuje prowadzący ćwiczenie. Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów należy wykonać próbną serię pomiarową i na podstawie uzyskanych wyników określić czy emitowany przez źródło hałas ma charakter ustalony czy niestabilny. Miernik natężenia dźwięku ustawić w trybie: stała czasowa – FAST, charakterystyka korekcyjna – A.

a. Dla zdefiniowanego hałasu ustalonego przeprowadzić badania:

- wykonać 40 pomiarów natężenia dźwięku (odczyty wskazań miernika co 15 s) w celu wyznaczenia równoważnego poziom dźwięku $L_{Aeq,Te}$ i poziomu ekspozycji na hałas odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy $L_{EX,8h}$
- wykonać pomiary maksymalnego poziomu dźwięku L_{Amax} ,
- zmieniając ustawienie miernika wykonać pomiary szczytowego poziomu dźwięku L_{CPEAK}

b. Dla zdefiniowanego hałasu niestabilnego przeprowadzić badania:

- wykonać 4 serie pomiarowe natężenia dźwięku, z których każda trwa 5÷8 min., a przerwa pomiędzy seriami trwa 3÷5 min.; częstotliwość próbkowania pomiarów co 15÷20 s w celu wyznaczenia równoważnego poziom dźwięku $L_{Aeq,Te}$ i poziomu ekspozycji na hałas odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy $L_{EX,8h}$
- wykonać pomiary maksymalnego poziomu dźwięku L_{Amax} ,
- zmieniając nastawy miernika zmierzyć szczytowy poziom dźwięku L_{CPEAK} .

Tab. 2.5. Zestawienie wyników badań dla hałasu ustalonego

Lp	Natężenie dźwięku L_A	Maksymalne natężenie dźwięku L_{Amax}	Szczytowy poziom dźwięku, L_{CPEAK}	Równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq,Te}$	Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$
1					
2					
...					
40					

Tab. 2.6. Zestawienie wyników badań dla hałasu nieustalonego

Lp	Natężenie dźwięku L_A	Maksymalne natężenie dźwięku L_{Amax}	Szczytowy poziom dźwięku L_{CPEAK}	Równoważny poziom dźwięku dla serii $L_{Aeq,Ti}$	Równoważny poziom dźwięku dla całego pomiaru $L_{Aeq,Te}$	Poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$
1						
..						
20						
1						
..						
20						
1						
..						
Liczba serii pomiarowych						
Czas trwania jednej serii pomiarowej						
Czas pomiędzy kolejnymi odczytami wskazań miernika						
Przerwa pomiędzy seriami						

W opracowaniu wyników wyznaczyć równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq,Te}$, a w przypadku hałasu nieustalonego równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq,Te}$ dla każdej serii pomiarowej i całego pomiaru. Wyznaczyć poziom ekspozycji na hałas odniesiony do ośmiogodzinnego dnia pracy $L_{EX,8h}$ a uzyskane wyniki $L_{EX,8h}$, L_{Amax} , L_{CPEAK} , porównać z wartościami normatywnymi (tabela 1.5). Oszacować ryzyko zawodowe (ustalić krotność k przekroczenia NDN).

2.5. Analiza poziomów natężenia dźwięku w przestrzeni otwartej

Przeprowadzić badania natężenia dźwięku na zewnątrz budynku. Dokładną lokalizację wskazuje prowadzący (np. parking przed budynkiem Aspectu, tereny zielone kampusu uczelni). Wykorzystując mierniki cyfrowe i analogowo-cyfrowe zasilane bateryjnie, przeprowadzić serię pomiarów dzięki którym możliwa będzie do opracowania mapa akustyczna. Liczba punktów pomiarowych – ok. 50, odległość między punktami – $1 \div 3$ m. Wykonać roboczy szkic geometrii obszaru pomiarowego (ewentualnie zrobić zdjęcie). W sprawozdaniu zamieścić mapę akustyczną, a we wnioskach przeprowadzić identyfikację źródeł hałasu obszaru pomiarowego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Armstrong K., Williams T., *EMC Testing Part 1 – 6*, EMC + Compliance Journal, February 2001, www.emc-journal.co.uk, [dostęp 20.09.2013].
- [2] Balanis C., *Antenna theory: analysis and design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997, ebook: <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa/>, [dostęp 20.09.2013].
- [3] Bednarek K., Nawrowski R., *Oddziaływanie na organizm człowieka pól elektromagnetycznych i elektrycznych emitowanych przez monitory komputerowe*, Bioelektromagnetyzm, red. i oprac. Krawczyk A., Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa 2002, s. 124–143.
- [4] Billewicz K., *Parametry jakościowe energii elektrycznej*, Wiadomości Elektrotechniczne 2008, nr 11, s. 44–48.
- [5] Bogucki J., Chudziński A., Połujan J., *Emisja elektromagnetyczna urządzeń w praktyce*, Telekomunikacja i Techniki Informacyjne 1-2/2007, s. 85–95.
- [6] Clayton P. R., *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons Inc., 1992.
- [7] Cowan, J. P., *Handbook of Environmental Acoustics*, J. Wiley & Sons Inc., New York, 1994.
- [8] Crocker M. J., *Handbook of Acoustics*. J. Wiley & Sons Inc., New York, 1995.
- [9] Dackiewicz A., Krawczyk A., *Pola elektromagnetyczne a środowisko*, Pole elektromagnetyczne w biosferze, red. i oprac. Krawczyk A., Wyszowska J., CIOP-PIB Warszawa 2005, s. 45–53.
- [10] Davis D., Davis C., *Sound System Engineering*, Focal Press, Boston, 1997.
- [11] Departament Ochrony Środowiska Stanu Massachusetts, Departament Zdrowia Publicznego Stanu Massachusetts, *Studium wpływu turbin wiatrowych na zdrowie*, Sprawozdanie panelu niezależnych specjalistów, styczeń 2012.
- [12] Directive 2004/108/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC L 390/24 Official Journal of the European Union EN, 31.12.2004.
- [13] Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, Warszawa, 2001.
- [14] Gizicki A., *Kompatybilność elektromagnetyczna w aplikacjach z przetwornicami częstotliwości – wybrane zagadnienia ograniczania zakłóceń w obwodach zasilania*, www.anap.pl, data dostępu: 20.09.2013.
- [15] Gryz K., Karpowicz J., *Ekspozycja na pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i metody jej ograniczania*, Przegląd Elektrotechniczny, 12/2004, s. 1188–1193.
- [16] Gryz K., Karpowicz J., *Źródła pól elektromagnetycznych – monitory ekranowe*, Bezpieczeństwo Pracy, 4(367)2002, s. 13–17.
- [17] Hołdyński G., Skibko Z., *Zakłócenia wprowadzane do układów elektroenergetycznych przez odbiorniki nieliniowe*, Wiadomości Elektrotechniczne, 4/2009, s. 24–29.
- [18] Hołubowicz W., *Stacje telefonii komórkowej jako źródło promieniowania elektromagnetycznego*, Sympozjum Środowiskowe PTZE, Zastosowania

- elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i informatyce, Wenecja, 25-27 czerwca 2001, s. 146–153.
- [19] Ingielewicz R., Zagubień A., *Problematyka hałasu towarzyszącego pracy turbin wiatrowych – ocena zagrożeń*, Politechnika Koszalińska – Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Koszalin, 2011.
- [20] Instrukcja obsługi analizator jakości zasilania PQM-700, SONEL S. A., Wersja 1.00.
- [21] Instrukcja obsługi miernika ESCI3, Rohde&Schwarz, www.rohde-schwarz.com, [dostęp 20.09.2013].
- [22] Instrukcja obsługi miernika FSP30, Rohde&Schwarz, www.rohde-schwarz.com, [dostęp 20.09.2013].
- [23] Instrukcja obsługi miernika Maschek ESM-100, www.maschek.de/uk/index.html, [dostęp 20.09.2013].
- [24] Instrukcja obsługi miernika pola elektrycznego EF90, Tompol S.C. 1996.
- [25] Instrukcja obsługi miernika pola magnetycznego MR100SE, Tompol S.C. 1996.
- [26] Instrukcja obsługi miernika temperatury i wilgotności TES92, www.introl.pl, [dostęp 20.09.2013].
- [27] Instrukcja obsługi miernika TES1361C, www.tes-meter.com/tes1361.htm, [dostęp 20.09.2013].
- [28] Instrukcja obsługi oscyloskopu Rigol DS1102E.
- [29] Instrukcja obsługi: Decybelomierz Voltcraft SL-451, Numer produktu: 105031, Dystrybucja Conrad Electronic Sp. z o.o.
- [30] Janus K., Bajkowski G., Mazurek P. A., *Analiza poziomów natężenia dźwięków na obszarze Politechniki Lubelskiej*, II Sympozjum Zastosowań Nowoczesnych Technic w Inżynierii Ochrony Środowiska, Materiały vol. 2, 2004–2005, wydawnictwo-drukarnia LIBER Duo S.C., Lublin 2005.
- [31] Karpowicz J., Gryz K., *Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych – środki ochrony zbiorowej i indywidualnej*, Bezpieczeństwo Pracy, 1(448)2009, s. 6–9.
- [32] Karpowicz J., Gryz K., *Pola elektromagnetyczne w pomieszczeniach biurowych i nieprzemysłowych – Kształtowanie środowiska pracy*, CIOP-PIB, Warszawa 2007.
- [33] Karpowicz J., Gryz K., Wincenciak S., *Pola elektromagnetyczne w środowisku pracy – zasady bezpiecznej ekspozycji*, Bioelektromagnetyzm, red. i oprac. Krawczyk A., Instytut Naukowo-Badawczy ZTUREK, Warszawa 2002, s. 14–27.
- [34] Kasprzak A., Orlikowski M., Brodecki D., *O pewnych aspektach EMC dotyczących powszechnego wprowadzenia świetlówek energooszczędnych*, Przegląd Elektrotechniczny, 9/2007, s. 104–105.
- [35] Kempki A., *Elektromagnetyczne zaburzenia przewodzone w układach napędów przekształtnikowych*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego 2005.
- [36] Klugman-Radziemska E., *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, wydanie IV, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [37] Koszmider A., *Certyfikat CE w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej*, Wydawnictwo ALFA-WEKA Sp. z o.o., 2002.
- [38] Leszczyński J., Kosobudzki G., *Pomiary zaburzeń przewodzonych w sieci elektroenergetycznej – przykłady analizy*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Nr 58, Politechnika Wrocławska, Studia i Materiały Nr 25, 2005.

- [39] Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła Energii*. Wydanie IV, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010.
- [40] Lutyński A., *Pomiary hałasu na stanowiskach pracy w zakładzie przeróbczym kopalni węgla kamiennego*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, Rok 31, Zeszyt 4, 2007, s. 25–32.
- [41] Machczyński W., *Wprowadzenie do kompatybilności elektromagnetycznej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [42] Materiały o hałasie, <http://www.ciop.pl>, [dostęp 20.09.2013].
- [43] Materiały ze szkoleń z dziedziny fotowoltaiki, <http://pv.pl/szkolenia-z-fotowoltaiki>, [dostęp 20.09.2013].
- [44] Masłowski G., Przytuła K., Mazurek P. A., *Badania emisji pól elektromagnetycznych*, I Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków, pod redakcją P. Filipka, P. A. Mazurka, Politechnika Lubelska, s. 89–94.
- [45] Mazurek P. A., *Pomiary pól wysokiej częstotliwości w środowisku zurbanizowanym*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12/2009, s. 118–120.
- [46] Mazurek P. A., rozdział 8.2, *Pomiary laboratoryjne kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych*, s. 240–255, T. Janowski, H. D. Stryczewska, A. Wac-Włodarczyk, G. Wojtasiewicz, B. Kondratowicz-Kucewicz, S. Kozak, J. Kozak, M. Majka, L. Jaroszyński, P. Mazurek i inni., *Technologie nadprzewodnikowe i plazmowe w energetyce*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2009.
- [47] Mazurek P. A., Wac-Włodarczyk A., Parys T., Rojek J., Stroński K., Solecki B., Wójcik M., Stępniewski M., *Wybrane zagadnienia pomiarów natężeń pól elektrycznych i magnetycznych niskiej częstotliwości na przykładzie miasta Lublin*, XIX Sympozjum Środowiskowe, zastosowania Elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i informatyce, Worliny, s. 125–127.
- [48] Mazurek P. A., *Wpływ właściwości materiałów magnetycznych rdzeni dławików przeciwzakłóceńowych na skuteczność filtrowania zakłóceń przewodzonych*, rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, 2007.
- [49] Mazurek P. A., *Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej*, Politechnika Lubelska, Lublin 2010.
- [50] Miłoślawski T., *Badanie dławikowej przetwornicy podwyższającej napięcie*, Laboratorium Zasilanie Urządzeń Elektronicznych, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.
- [51] Montrose M. I., Nakauchi E. M., *Testing for EMC compliance*, IEEE PRESS, Wiley-Interscience, 2004.
- [52] Moskalik K., *Ocena poziomów pól elektromagnetycznych w Polsce na podstawie pomiarów wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska w 2011 roku*, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Departament Monitoringu i Informacji o Środowisku, Warszawa, październik 2012 r.
- [53] Niebrzydowski J., Hołdyński G., *Analiza odkształceń prądów i napięć zasilających w wiejskich sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia*, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 10/2006, s. 12–16.
- [54] Nowak M., Barlik R.: *Poradnik inżyniera energoelektronika*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
- [55] Pasko M., Maciążek M., Buła D., *Wprowadzenie do zagadnień analizy jakości energii elektrycznej*, *Wiadomości Elektrotechniczne*, 4/2007, s. 4–9.

- [56] Pieńkowski K. (red.), *Propozycje wdrożeń odnawialnych źródeł energii na obszarze Polski*, I Krajowa Konferencja pod patronatem Ministra Gospodarki, Fundacja Innowacyjnej Gospodarki, Białystok.
- [57] PN-CISPR 16-1, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Urządzenia do pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Grudzień 1997.
- [58] PN-CISPR 16-1:2000 EMC Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Urządzenia do pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne.
- [59] PN-CISPR 16-2:1999 EMC Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne.
- [60] PN-EN 61000-6-3, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-3: Normy ogólne – Norma emisji w środowiskach: mieszkalnym, handlowym i lekko uprzemysłowionym.
- [61] PN-EN 61000-6-4, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 6-4: Normy ogólne - Norma emisji w środowiskach przemysłowych.
- [62] Portal zielonej energii, www.gramzielone.pl, [dostęp 20.09.2013].
- [63] ProSilence, *Analiza oddziaływania w zakresie emisji pola i promieniowania elektromagnetycznego przedsięwzięcia polegającego na budowie farmy wiatrowej w Adamowie*, gm. Gronowo Elbląskie, www.prosilence.pl, data dostępu: 20.09.2013.
- [64] Przybylski J., Szulc Z.: *Określenie zawartości harmonicznych w napięciu i prądzie zasilającym zakłady przemysłowe*, Napędy Przemysłowe, 1999.
- [65] Rozporządzenie Min. Pracy i Polityki Socjalnej z dn. 2.01.2001 zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 4 z dn.23.01.2001, poz. 36).
- [66] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11-08-1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku, oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania (Dz. U. nr 107, poz. 676).
- [67] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. Nr 192, poz. 1883).
- [68] Różycki S., *Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji samorządowej*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011.
- [69] Smoleński R., *Zaburzenia elektromagnetyczne przewodzone w systemach elektroenergetycznych typu Smart Grid*, Instytut Inżynierii Elektrycznej, Wydział Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytet Zielonogórski.
- [70] Starzak Ł., Olszewski A., *Przyrządy i układy mocy – Ćwiczenie 3B. Tranzystor MOSFET, Stany dynamiczne, Przetwornica impulsowa*, Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej, 2009.
- [71] Stryczewska H. D., *Technologie Plazmowe w energetyce i inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2009.

- [72] Stryczewska H. D., Nalewaj K., Diatczyk J., *Technologie Energii Odnawialnej*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 79, Lublin, 2011.
- [73] Stryjecki M., Mielniczuk K., *Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych*, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011.
- [74] Szulczyk J., *Akustyczne projektowanie farm wiatrowych*, Przemysł Zarządzanie Środowisko, styczeń-luty 2011, s. 52–53.
- [75] Szulczyk J., Cempel C., *Hałas turbin wiatrowych w zakresie infradźwięków*, Międzynarodowa Konferencja Monitoring Środowiska 2010, 24 – 25.05.2010 Kraków
- [76] Szymański B., Blog poświęcony odnawialnym źródłom energii tematów pokrewnym, <http://solaris18.blogspot.com>, [dostęp 20.09.2013].
- [77] Trojanowska M., Nęcka K., *Analiza jakości napięcia zasilającego gospodarstwa wiejskie*, Inżynieria Rolnicza 7(95)/2007, s. 221–227.
- [78] Tunia H., Układy elektromagnetyczne prostowników wielopulsowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 9/2005, s. 1–14.
- [79] Ustawa – Prawo ochrony środowiska, ustawa z dn. 27.04.2001, Dz. U. nr 62/2001, poz. 627.
- [80] Więckowski T. W., *Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
- [81] Williams T., Armstrong K.: *EMC for Systems and Instalations*, Newnes 2000.
- [82] Williams T., *EMC for products designer*, third edition, Tim Williams 2001.
- [83] Wiśniewski G., Więcka A., Dziamski P., Kamińska M., Rosołek K., Santorska A., *Małoskalowe odnawialne źródła energii i mikroinstalacje, kolektory słoneczne, systemy fotowoltaiczne, małe elektrownie wiatrowe*, Publikacja Fundacji im. Heinricha Bölla, Biuro Regionalne Europa Centralna, Warszawa.
- [84] Włodarski M., *Poradnik, Zastosowanie odnawialnych źródeł energii (OZE) w gospodarstwach domowych*, www.wfosigw.gda.pl/biura/wfos/uploadimages/proj_srodowiskowe/oze/przewodnikoze.pdf, [dostęp 20.09.2013].
- [85] Woroniecki S., *Wymagania dotyczące dopuszczalnej emisji hałasu dla maszyn umieszczanych na rynkach Unii Europejskiej i na rynku Polski* (Wydanie III), raport na zlecenie Ministerstwa Gospodarki, Departament Polityki Przemysłowej, 2010.