



Elektrotechnologie w projektach studentów
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki

Vol. 5

redakcja:

Paweł A. Mazurek

M
O
N
O
G
R
A
F
I
E

Elektrotechnologie w projektach studentów
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
Vol. 5

Monografie – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
ul. Nadbystrzycka 38A
20-618 Lublin

Elektrotechnologie w projektach studentów
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
Vol. 5

redakcja:
Paweł A. Mazurek



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2019

Recenzenci:

dr hab. inż. Michał Majka, prof. Politechniki Lubelskiej

dr inż. Michał Łanczont

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2019

ISBN: 978-83-7947-382-3

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej

www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa

ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

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

Nakład: 50 egz.

SPIS TREŚCI

<i>Przedmowa</i>	7
1. <i>KASPERSKI Patryk</i> <i>Projekt wirtualnego stanowiska laboratoryjnego do modelowania właściwości impedancyjnych skóry</i>	9
2. <i>KORYCKI Tomasz</i> <i>Projekt inteligentnej wytrawiarki płytek PCB sterowanej przez WiFi</i>	21
3. <i>KOSTYŁA Damian</i> <i>Stanowisko laboratoryjne do badań zjawiska ulotu w elektroenergetycznych liniach napowietrznych</i>	33
4. <i>MAKSYMIEC Maciej</i> <i>Wykorzystanie mikrokomputera Raspberry Pi do sterowania przekaźnikami oraz odczytywania sygnałów zewnętrznych</i>	46
5. <i>RAGUS Rafał</i> <i>Badanie wiatrowej mikroinstalacji wytwórczej</i>	53
6. <i>JEDYNAK Damian</i> <i>Wyznaczenie charakterystyki działania zabezpieczenia różnicowego wzdłużnego w transformatorze</i>	60
7. <i>CHOCHÓŁ Rafał</i> <i>Model automatyki budynkowej sterowanej za pomocą smartfona</i>	67
8. <i>BURY Kamil</i> <i>Elektroenergetyczne linie napowietrzne</i>	76
9. <i>BUJNIK Maciej</i> <i>Perspektywiczne sposoby magazynowania energii w pojazdach elektrycznych</i>	83
10. <i>LATAWIEC Rafał</i> <i>Straty w żyłach powrotnych linii kablowych i metody ich ograniczania – cross-bonding</i>	94
11. <i>DEJNEK Szymon Piotr</i> <i>Wirtualne przyrządy pomiarowe jako narzędzia pracy inżyniera</i>	103

12.	<i>WAWRZAK Tomasz</i> <i>Stanowisko laboratoryjne do badania wzmacniaczy operacyjnych</i>	109
13.	<i>SAWICKI Piotr</i> <i>Metody transmisji danych ze szczególnym omówieniem budowy</i> <i>światłowodowych linii napowietrznych na podbudowie słupowej sieci</i> <i>energetycznej</i>	116
14.	<i>MARCINKOWSKI Michał</i> <i>Projekt źródła prądowego dużej mocy w topologii wielofazowej przetwornicy</i> <i>obniżającej napięcie</i>	125
15.	<i>GOLONKA Rafał, DZIADOSZ Kamil</i> <i>Wpływ wygrzewania na wybrane właściwości elektryczne nanokompozytów</i> <i>(FeCoZr)_x(SiO₂)_(100-x) wytworzonych metodą dwuźródłowego rozpylania</i> <i>jonowego</i>	135
16.	<i>ZIĘTEK Agnieszka</i> <i>Czujnik pracy serca oparty na foliowym przetworniku piezoelektrycznym</i>	147
17.	<i>HABZA Paweł</i> <i>Energia fotowoltaiczna jako alternatywne źródło energii elektrycznej</i>	154
18.	<i>KMICIŃSKI Łukasz</i> <i>Badanie układu złożonego z dwóch maszyn indukcyjnych w aspekcie pracy</i> <i>prądnicowej</i>	171
19.	<i>HYMOS Mateusz</i> <i>Porównanie oddziaływania różnych odbiorników jednofazowych na sieć</i> <i>elektroenergetyczną pod kątem jakości energii</i>	179

PRZEDMOWA

Szanowni Czytelnicy,

Oto przed Wami piąty tom zebranych publikacji, których autorami są studenci studiów magisterskich kierunku Elektrotechnika prowadzonego przez Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Zebrane referaty, wzorem ubiegłych lat, są wynikiem realizowanego od roku akademickiego 2014/2015 modułu „Elektrotechnologie” w wymiarze wykładu, laboratorium i projektowania. Tematyka zajęć oparta jest na doświadczeniach kadry akademickiej oraz specjalistów z branży elektrycznej.

Zebrane w tym tomie materiały, to ponownie efekt pracy własnej studentów, którym uczelnia zapewniła dostęp do uczestniczenia w badaniach naukowych. Działania te są jednym z elementów ciągłego podnoszenia jakości kształcenia przez Wydział, zawsze powiązanego z rynkiem pracy, gospodarką opartą na wiedzy jak i profilem ogólnoakademickim.

Zredagowane w publikacji materiały mają szerokie spektrum tematyczne. Znajdziemy tu prace o charakterze teoretycznym i przeglądowym oraz opracowane zadania projektowe i wyniki badań własnych na autorskich modelach i stanowiskach laboratoryjnych. Różnorodność tematyczna referatów jest dużą zaletą, a jednocześnie jest dowodem na szeroki obszar zastosowań elektrotechniki i elektrotechnologii. W aktualnym tomie zaobserwować można zainteresowanie studentów elektrotechnologiami z zakresu instalacji elektroenergetycznych, maszyn elektrycznych i aplikacyjności elektroniki.

Powstały materiał to efekt wdrażania studentów do świata nauki. Dostarczone przez studentów materiały przechodzą pełny cykl wydawniczy. Studenci przeprowadzają badania i analizy, przygotowują tekst naukowy, który kolejno przechodzi w pierwszej fazie recenzję edycyjną, a następnie merytoryczną. Wiele dostarczonych materiałów nie spełnia wymagań aby zostać opublikowanymi. Ponownie, na dostarczone ok. 60 referatów tylko najlepszy 19 zakwalifikowało się do publikacji. To również jest doświadczenie dla naszych studentów, bowiem wielu ich kolegów studiujących na innych uczelniach czy kierunkach nie ma możliwości zdobywania wiedzy i umiejętności w obszarze naukowego publikowania.

Artykuły zawarte w publikacji przeznaczone są przede wszystkim dla studentów studiów kierunku Elektrotechnika w Politechnice Lubelskiej. Są wsparciem dla realizowanego modułu Elektrotechnologie. Mam jednak nadzieję – wraz z autorami referatów, że z zebranych materiałów będą również korzystać studenci pokrewnych kierunków na uczelniach technicznych.

P. A. Mazurek

PROJEKT WIRTUALNEGO STANOWISKA LABORATORYJNEGO DO MODELOWANIA WŁAŚCIWOŚCI IMPEDANCYJNYCH SKÓRY

WSTĘP

Podczas badania wpływu prądu elektrycznego na skórę ludzką można dowieść, że posiada ona właściwości impedancyjne. Skóra będąc tkanką żywą posiada charakter rezystancyjny i pojemnościowy, nie posiadając charakteru indukcyjnego.

Pomiar impedancji pozwala ukazać związek pomiędzy stanem czynnościowym skóry a jej właściwościami. Skóra badana jest najczęściej pod wpływem prądu przemiennego, ponieważ umożliwia on zbadanie rezystancji oraz pojemności elektrycznej skóry. Pomiar impedancji skóry jest również bardzo ważny przy takich badaniach jak: kontrola ukrwienia kończyn, kardiografia impedancyjna oraz impedancyjna metoda kontroli procesu gojenia ran. Symulacja właściwości impedancyjnych skóry jest istotna w celu rozpoznania zależności impedancji od częstotliwości. Przeprowadzenie modelowania zapewnia sprawdzenie (opisanie) właściwości impedancyjnych skóry, bez obecności prawdziwej tkanki. Istotą przeprowadzonych badań jest sprawdzenie, które elementy modelu mają znaczny wpływ na impedancję dla danej wartości częstotliwości. Dodatkowo będzie można otrzymać odpowiedź, która warstwa skóry odpowiada danemu elementowi obwodu.

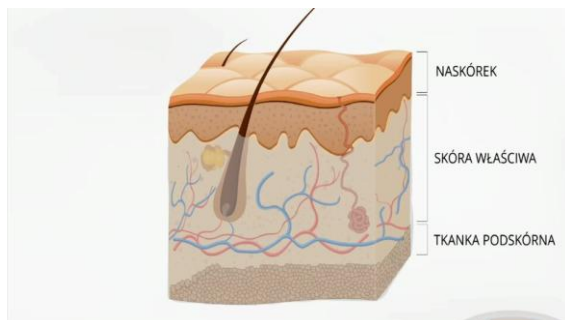
Wirtualne stanowisko pomiarowe przeznaczone do modelowania, umożliwi przeprowadzenie badań bez potrzeby konstruowania fizycznego stanowiska laboratoryjnego, co stanowi dużą funkcjonalność.

IMPEDANCJA SKÓRY LUDZKIEJ

Skóra jest jednym z wielu najważniejszych narządów człowieka. Stanowi barierę, która ma za zadanie oddzielić ciało człowieka od środowiska oraz zapewnić z nim kontakt. Budowa tej tkanki jest bardzo złożona, ze względu na obecność wielu elementów, dlatego też może pełnić liczne funkcje. Składa się ona z trzech warstw: naskórka, skóry właściwej oraz tkanki podskórnej (Rys. 1). Naskórek jest warstwą położoną najbardziej na zewnątrz i jest najcieńszy w stosunku do pozostałych warstw. W następnej kolejności znajduje się skóra właściwa, złożona z tkanki łącznej która zawiera m.in. włókna kolagenowe, naczyń krwionośnych oraz zakończenia nerwowe. Ostatnią warstwą jest tkanka

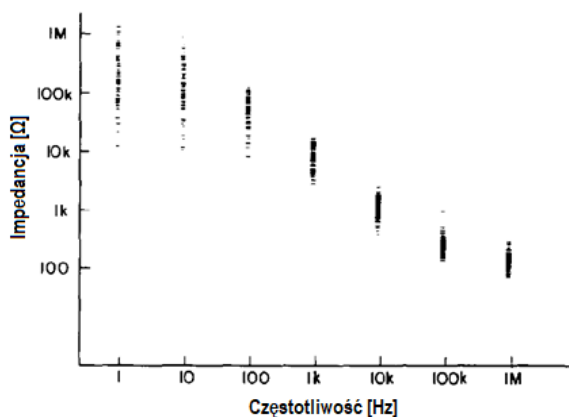
¹Politechnika Lubelska, WEiI, patryk.kasperski@pollub.edu.pl

podskórna, która jest złożona z tkanki łącznej właściwej luźnej. W swojej strukturze zawiera także tkankę tłuszczową [1, 2].



Rys. 1. Przekrój warstw skóry [2]

Skóra będąc tkanką żywą posiada charakter rezystancyjny oraz pojemnościowy, nie wykazując przy tym charakteru indukcyjnego. Przepływ prądu zmiennego o niskich częstotliwościach wykazuje przede wszystkim opór rzeczywisty skóry, natomiast w przypadku przepływu prądu o wysokich częstotliwościach uwidacznia się przede wszystkim opór reaktancyjny skóry. Można wywnioskować, że impedancja skóry zależy w głównej mierze od częstotliwości przepływającego prądu [3].



Rys. 2. Wykres impedancji w funkcji częstotliwości dla różnych obszarów skóry ludzkiej [5]

W trakcie pomiaru impedancji przy niskich wartościach częstotliwości można zauważyć, że zależy ona przede wszystkim od stanu naskórka. Natomiast pomiar impedancji przy wysokich częstotliwościach pokazuje, że największy wpływ na jej wartość ma stan skóry właściwej oraz tkanki podskórnej. Biorąc pod uwagę powyższe, można stwierdzić, że zbadanie impedancji może ukazać

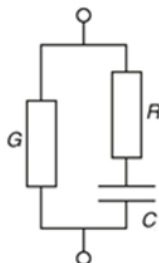
informacje dotyczące poziomu nawilżenia skóry, obecności obrzęków oraz patologii. Badania pokazują, że impedancja skóry jest znacznie większa podczas, gdy na skórze są obecne zwyrodnienia. Analizy, której warstwy dotyczy owe zwyrodnienie, może dostarczyć pomiar impedancji skóry [4].

Analizując badania impedancji w zakresie od 1 Hz do 1 MHz na dziesięciu różnych obszarach skóry: głowy, klatki piersiowej oraz okolicy kostek, osób w wieku od 19 do 55 lat, można dostrzec jak duże są rozbieżności wartości impedancji w zależności od obszaru ciała (Rys. 2) [5].

Przeprowadzona próba przy zakresie częstotliwości od 100 kHz do 1 MHz pokazała, że rezultaty pomiarów były do siebie podobne dla wszystkich badanych części ciała. Ten zakres można by opisać jedynie za pomocą rezystora. Rozpatrując wyniki w zakresie częstotliwości od 100 Hz do 100 kHz można zauważyć znaczny spadek impedancji. Te zmiany można usprawiedliwić właściwościami pojemnościowymi, które posiada skóra i które uwidoczniają się w zakresie tych częstotliwości. Ten obszar można opisać przy pomocy kondensatora. W przypadku pomiarów w zakresie od 1 Hz do 100 Hz tak duża rozbieżność wyników można wytłumaczyć stanem naskórka, który posiada różną grubość w zależności od obszaru ciała. Ten zakres można opisać przy pomocy rezystora [5].

MODEL IMPEDANCYJNY SKÓRY LUDZKIEJ

Założeniem projektu jest to, aby wybrać najprostszy model, który będzie mógł korzystnie przybliżyć właściwości impedancyjne skóry. Istnieje wiele wariantów modeli, które mogą charakteryzować skórę jako „elektryczny odpowiednik”, wszystko jednak zależy od tego czego się od nich oczekuje. Model impedancyjny musi zachowywać takie same właściwości elektryczne co prawdziwa skóra. Optymalnym rozwiązaniem jest wybór modelu o charakterze opisowym. Cechą tego typu modeli jest to, że opisują właściwości impedancyjne skóry za pomocą powszechnie znanych elementów elektrycznych, a także algorytmów. Taki model pozwala na przeprowadzenie pomiarów, dzięki czemu można przeanalizować zmierzone wartości i wyznaczyć charakterystyki. Model nie skupia się na odwzorowaniu wizualnym skóry, lecz skupia się przede wszystkim na odwzorowaniu zachowania tkanki na działanie prądu elektrycznego. Dodatkową cechą charakterystyczną tego modelu jest to, że więcej niż jeden model (obwód elektryczny), może być elektrycznym odpowiednikiem skóry. W projekcie wykorzystany zostanie obwód składający się z trzech komponentów, który w wystarczający sposób, będzie opisywał zachowanie pod wpływem prądu elektrycznego. Komponentami elektrycznymi, które wejdą w skład modelu będącego elektrycznym odpowiednikiem będą: rezystor (R) oraz kondensator (C) połączone szeregowo oraz dodatkowy rezystor (G) dołączony równolegle (Rys. 3). Wyniki modelowania przedstawione są jako złożone wartości impedancji (Z) oraz wartości dodatkowych parametrów opisujących obwód [6, 7, 8].



Rys. 3. Model zastępczy skóry [6]

W tym modelu można wyróżnić dwie stałe czasowe (τ_1 oraz τ_2), jedna, która odnosi się do elementów C i R :

$$\tau_1 = CR, \quad (1)$$

oraz druga, która dotyczy elementów C i G :

$$\tau_2 = \frac{C}{G}, \quad (2)$$

Wartość kąta fazowego (φ) dla obwodu opisuje następujący wzór:

$$\varphi = \arctan \frac{\omega C}{G + \omega^2 C^2 R(1 + RG)}, \quad (3)$$

Impedancja (Z) dla powyższego modelu charakteryzuje się następującym wzorem:

$$Z = \frac{G + \omega^2 C^2 R(1 + RG) - j\omega C}{G^2 + \omega^2 C^2 (1 + RG)^2}. \quad (4)$$

W powyższym wzorze ω stanowi pulsację.

ZAŁOŻENIA I WYMAGANIA STAWIANE PROGRAMOWI DO MODELOWA

Głównym założeniem przy tworzeniu programu jest to, by zapewnić użytkownikowi prostą regulację parametrów oraz łatwy odczyt wyników badań. Wirtualnym urządzeniem pełniącym rolę źródła prądu sinusoidalnie przemiennego zostanie generator funkcyjny, zapewniający regulację amplitudy i częstotliwości sygnału. Dzięki możliwościom jakie daje program będzie można odczytywać wartość prądu i napięcia w obwodzie podczas pracy na generatorze, gdzie w rzeczywistości należałoby użyć aparatury do pomiarów.

Bardzo ważną rzeczą podczas modelowania właściwości impedancyjnych skóry jest regulacja wartości rezystorów i kondensatora, co zapewni zaprojektowany program. Kolejnym uproszczeniem ma być możliwość rejestracji wyników pomiaru w tabeli pomiarowej, a także obliczenie parametrów opisujących układ, których nie można zmierzyć. Udogodnieniem jest także to, że po zakończeniu pomiaru, będzie można eksportować wyniki zawarte w tabeli pomiarowej do arkusza kalkulacyjnego, gdzie będzie można

dokonać dalszej analizy wyników. Środowiskiem wykorzystanym do stworzenia wirtualnego stanowiska laboratoryjnego będzie program LabVIEW.

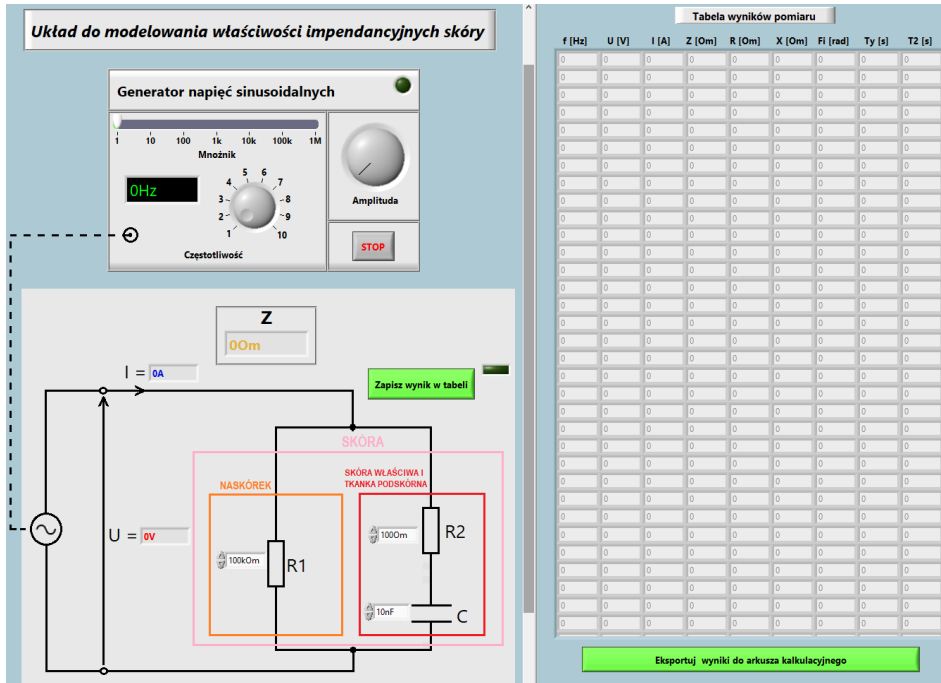
BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA PROGRAMU DO MODELOWANIA WŁAŚCIWOŚCI IMPEDANCYJNYCH SKÓRY

Program LabVIEW złożony jest z dwóch elementów: Panelu Czołowego oraz Schematu Blokowego. Panel Czołowy daje możliwość umieszczenia elementów wejściowych i wyjściowych, a także dodawania obiektów graficznych. Schemat Blokowy charakteryzuje się tym, że znajdują się w nim ikony elementów wejściowych i wyjściowych, tych samych które zostały wstawione do Panelu Czołowego, a także ikony, które pełnią rolę funkcji [9]. Realizację programu rozpoczęto od rozlokowania w Panelu Czołowym elementów wejściowych i wyjściowych, a także obiektów graficznych. W początkowej fazie został wykonany wirtualny generator napięć sinusoidalnych, który posiada podstawowe funkcje tj. regulację częstotliwości oraz amplitudy sygnału. Do budowy generatora wykorzystano elementy regulacyjne („knob”, „horizontal”, „progres bar”), okienko ukazujące wartości parametru („numeric control”), oraz przycisk powodujący zakończenie symulacji. W kolejnym etapie został stworzony obwód pomiarowy, który będzie służył jako model zastępczy skóry. Do obwodu zostały dodane wskaźniki ukazujące wartości prądu i napięcia oraz wskaźnik ukazujący wartość impedancji. Zastosowany został również przycisk, który miał za zadanie zapisywać pomiar w tabeli pomiarowej. Następną czynnością było dodanie tabeli pomiarowej, która miała za zadanie ukazywać zapisane wyniki oraz obliczyć pozostałe parametry opisujące obwód. Dodatkowo dodano przycisk pozwalający zapisywać wyniki z tabeli pomiarowej do arkusza kalkulacyjnego. Na koniec opisane zostały pozostałe elementy oraz została dopasowana szata graficzna programu. Realizacja wyżej opisanych czynności widoczna jest na rysunku 4.

Druga część tworzenia programu skupiała się na konfiguracji Schematu Blokowego w celu powiązania ze sobą elementów dodanych w Panelu Czołowym oraz dostosowaniu funkcji tworzących relacje między nimi [9].

Działania w Panelu Czołowym rozpoczęto od dodania pętli „while”, która została zastosowana do cyklicznego powtarzania programu do momentu jej zakończenia poprzez określony warunek jakim w tym programie jest przycisk „STOP”. W pętli znalazły miejsce wszystkie elementy wejściowe i wyjściowe pod postacią ikon, które zostały dodane do Panelu Czołowego. W celu wyznaczenia parametrów opisujących obwód wykorzystano wzory matematyczne, które zostały zdefiniowane w węźle. Obliczenia w węźle wykonywane są poprzez dodanie elementów wejściowych (wartości rezystancji, pojemności, amplitudy oraz częstotliwości), a także zastosowanie elementów wyjściowych, które są wynikami działań (wartości prądu, napięcia, impedancji oraz pozostałych parametrów opisujących obwód). W przypadku prostych

działań matematycznych zostały wykorzystane operatory matematyczne dostępne w programie.



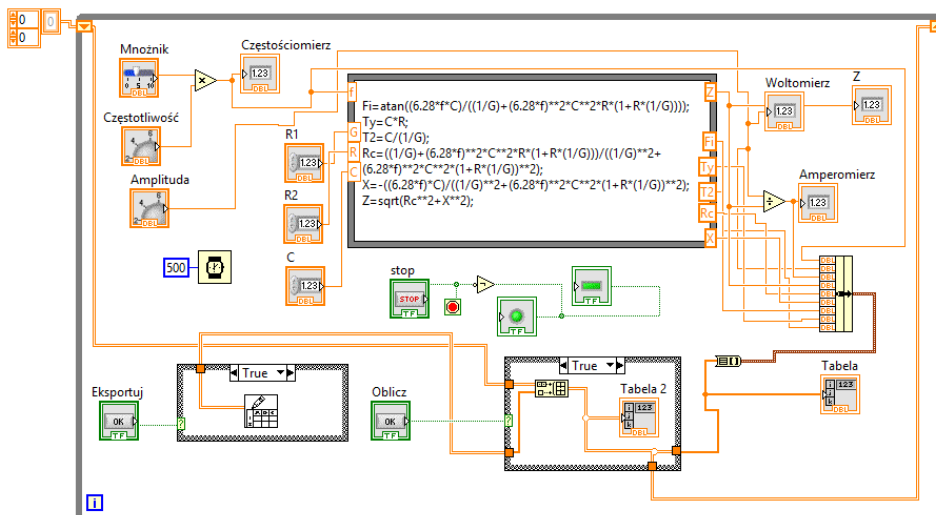
Rys. 4. Widok Panelu Czołowego programu do modelowania właściwości impedancyjnych skóry

W następnej kolejności zostało dodane opóźnienie czasowe dla pętli oraz instrukcje warunkowe, które definiowały zapis wyników pomiarów do tabeli pomiarowej oraz zapisu danych do arkusza kalkulacyjnego. Do rejestracji danych zastosowano klaster w celu zgromadzenia wartości elementów wyjściowych węzła i skierowaniu ich do funkcji, która miała za zadanie przekonwertować dane do wyświetlenia w formie tablicy jednowymiarowej. Następnie dane trafiają do kolejnej funkcji, gdzie są konwertowane do formy tablicy n -wymiarowej, z tej funkcji kolejno trafiają do tablicy, która wyświetla wyniki w Panelu Czołowym.

Druga z instrukcji warunkowych była pomocna, aby umożliwić eksportowanie danych znajdujących się w tabeli pomiarowej do arkusza kalkulacyjnego. W owej instrukcji warunkowej znajduje się funkcja, która umożliwia zapis danych do arkusza kalkulacyjnego.

Obydwie instrukcje warunkowe wymagają sterowania wejściem selekcyjnym i w obydwóch przypadkach rolę takiego sterownika pełni przycisk. Wirtualne diody LED w programie, pełnią rolę informatora o działaniu poszczególnych elementów programu. W końcowej fazie wszystkie funkcje zostały powiązane

relacjami z ikonami (elementami wejściowymi i wyjściowymi) przy pomocy „wirtualnych przewodów”. Rezultat końcowy jest widoczny na rysunku piątym. Zaprojektowany program został wygenerowany jako plik .exe co powoduje, że użytkownik nie ma dostępu do edycji programu. Ma to na celu uniknięcie ingerencji użytkownika w strukturę programu.



Rys. 5. Widok Schematu Blokowego programu do modelowania właściwości impedancyjnych skóry

PRZEPROWADZENIE MODELOWANIA WŁAŚCIWOŚCI IMPEDANCYJNYCH SKÓRY

Głównym celem modelowania jest możliwość sprawdzenia (opisania) właściwości impedancyjnych skóry. Atutem modelowania jest to, że nie ma potrzeby dysponować kontaktem z żywą tkanką, aby poznać jej właściwości impedancyjne. Jak już wcześniej wspomniano przypadek skóry ludzkiej charakteryzuje się tym, że naskórek posiada przede wszystkim właściwości oporowe, natomiast skóra właściwa oraz tkanka podskórna posiadają głównie właściwości pojemnościowe. Mając to na uwadze stworzony model złożony jest z takich elementów jak rezystory i kondensator. Modelowanie będzie przeprowadzone przy wykorzystaniu prądu sinusoidalnie przemiennego, gdyż dzięki temu będzie można zaobserwować poza oporem rezystancyjnym także opór reaktancyjny badanego modelu.

Modelowanie przeprowadzone będzie w oparciu o wyniki przeprowadzone na prawdziwej ludzkiej skórze, które są widoczne na rysunku 2. Dzięki tym wynikom będzie można uzyskać odpowiedź na temat zależności wartości impedancji skóry przy określonej częstotliwości. Mając na uwadze fakt, że

znane są zakresy wartości impedancji dla danych częstotliwości będzie można wybrać wartości rezystancji i pojemności, które tworzą model.

Modelowanie przeprowadzone w programie LabVIEW pozwoli na zasymulowanie wpływu prądu sinusoidalnego na model impedancyjny skóry. Pomiar impedancji będzie polegać na ustawieniu amplitudy i regulacji częstotliwości na wirtualnym generatorze oraz na dopasowaniu wartości rezystorów i kondensatora w ten sposób, aby uzyskać szukaną impedancję. Program oferuje możliwości podglądu na wartość natężenia prądu i napięcia w obwodzie, obserwacji wartości impedancji w trakcie zmian częstotliwości lub przy zmianie rezystancji czy pojemności, rejestrowania rezultatów pomiaru oraz automatyczne obliczenie dodatkowych parametrów opisujących obwód.

Znając wartość natężenia prądu, napięcia w obwodzie, aktualnej wartości impedancji oraz pozostałych parametrów opisujących obwód, będzie można w łatwy sposób wybrać wartości rezystorów oraz kondensatora tak, aby można było dokładnie odwzorować impedancję skóry.

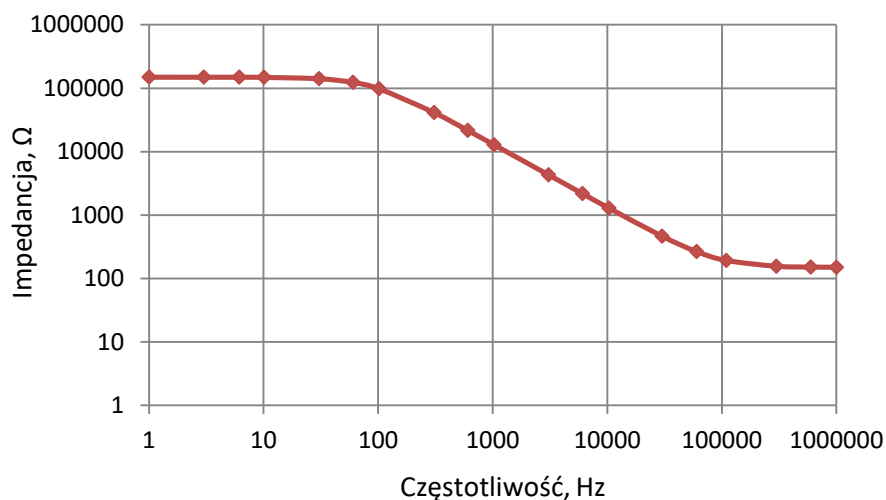
Proces modelowania zostanie przeprowadzony w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 1 MHz, ze względu na to, że wartość impedancji przy częstotliwości poniżej 1 Hz nie posiada znaczących zmian. W przypadku częstotliwości powyżej 1 MHz, impedancja również nie ulega większym zmianom. Przeprowadzone pomiary zostaną wykonane w taki sposób, aby uzyskać przejrzystą charakterystykę zależności impedancji od częstotliwości. Dzięki wyznaczeniu tej charakterystyki będzie można zaobserwować zależności impedancji skóry od częstotliwości, oraz będzie można poznać wpływ danych elementów obwodu na kształt wygenerowanego przebiegu [3, 5, 6].

Model impedancyjny skóry jest układem elektrycznym zawierającym rezystor i kondensator połączone szeregowo oraz dołączony równolegle rezystor (Rys. 3). W celu uzyskania wartości impedancji mieszczących się w przedziale stosownym dla skóry ludzkiej (Rys. 2) dopasowano: pojemność kondensatora, która wyniosła 12 nF, rezystancję rezystora połączonego szeregowo z kondensatorem wynoszącą 150 Ω , a także wartość rezystancji rezystora dołączonego równolegle, wynoszącą 150 k Ω .

Rezultaty pomiaru modelu impedancyjnego skóry zostały zawarte w tabeli pomiarowej (Tabela 1). Pomiar został przeprowadzony dla stałej wartości amplitudy wynoszącej 7 V. Częstotliwość była regulowana w zakresie od 1 Hz do 1 MHz. Wraz ze wzrostem częstotliwości można było zaobserwować wzrost natężenia prądu i spadek wartości impedancji. Największą wartość reaktancji zanotowano w okolicy 100 Hz. Wartość kąta fazowego dla tego obwodu była dodatnia co znaczy, że natężenie prądu jest spóźnione w fazie w porównaniu do napięcia. W tym modelu można wyróżnić dwie stałe czasowe. Pierwsza z nich to stała czasowa odnosząca się do kondensatora i rezystora, w połączeniu szeregowym oraz druga stała czasowa, która odnosi się do kondensatora i rezystora w połączeniu równoległym. Obydwie stałe czasowe definiują impedancję.

Tabela 1. Wyniki pomiaru modelu impedancyjnego skóry

Lp	f	U	I	Z	R	X	ϕ	τ_1	τ_2
	Hz	V	mA	Ω	Ω	Ω	rad	μs	ms
1	1	7	0,046	150000	149980	1695	11,3	1,8	1,8
2	3,01	7	0,0467	149913	149826	5096	34	1,8	1,8
3	6,13	7	0,0468	149640	149282	10344	69,2	1,8	1,8
4	10,08	7	0,047	149033	148074	16875	113,5	1,8	1,8
5	30,49	7	0,0494	141797	134060	46200	331,9	1,8	1,8
6	60,28	7	0,0565	123919	102420	69756	597,9	1,8	1,8
7	101,65	7	0,0711	98415	64656	74197	854	1,8	1,8
8	307,95	7	0,1692	41376	11551	39731	1,29	1,8	1,8
9	605,46	7	0,323	21665	3275	21416	1,42	1,8	1,8
10	1025	7	0,543	12887	1255	12826	1,47	1,8	1,8
11	3069	7	1,6203	4320	274,03	4311	1,51	1,8	1,8
12	6071	7	3,1992	2188	181,59	2180	1,49	1,8	1,8
13	10333	7	5,4204	1291	160,81	1281	1,45	1,8	1,8
14	30058	7	15,03	465,79	151,15	440,59	1,24	1,8	1,8
15	60195	7	26,2824	266,37	150,17	220	971,8	1,8	1,8
16	109432	7	36,3323	192,69	149,95	121,02	679	1,8	1,8
17	299023	7	44,7997	156,27	149,86	44,29	287,3	1,8	1,8
18	597082	7	46,2146	151,49	149,85	22,18	146,9	1,8	1,8
19	1000000	7	46,5374	150,44	149,85	13,24	88,1	1,8	1,8



Rys. 6. Wykres zależności impedancji od częstotliwości modelu impedancyjnego skóry

Bazując na danych zawartych w tabeli pomiarowej można dokonać wyznaczenia charakterystyki zależności impedancji od częstotliwości (Rys. 6). Charakterystyka została wykonana w skali logarytmicznej, tak aby można było w przejrzysty sposób odczytać rezultaty pomiaru. Na podstawie przebiegu widać, że od 1 Hz do ok. 80 Hz wartość impedancji zmienia się nieznacznie. W przedziale od ok. 80 Hz do ok. 100 kHz widoczny jest znaczący spadek impedancji wraz ze wzrostem częstotliwości, natomiast od ok. 100 kHz do 1 MHz widać, że impedancja zaczyna utrzymywać się na stałym poziomie.

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Analizując przebieg zależności impedancji od częstotliwości uzyskany w wyniku modelowania można orzec, że swoim kształtem odpowiada uzyskanym rezultatom badań przeprowadzonych na skórze ludzkiej co widać na rysunku 2. Wspólną cechą tych przebiegów jest to, że zbiegają się one dla niskich i wysokich częstotliwościach co jest zasługą dwóch rezystorów, natomiast w przypadku średnich częstotliwości widoczny jest liniowy spadek impedancji wraz ze wzrostem częstotliwości za czym stoi w tym przypadku wpływ kondensatora. Porównanie ze sobą wartości impedancji i reaktancji, które można uzyskać podczas modelowania pozwala dostarczyć informacji na temat prawidłowości w strukturze ciała, czyli uzyskać wiadomości na temat wszelkich odstępów od normy dających odpowiedź o występowaniu zwyrodnień oraz patologii. Uzupełniające parametry wyznaczone w tabeli takie jak stałe czasowe oraz kąt przesunięcia fazowego dostarczają dodatkowych informacji na temat modelu, co również może wpłynąć na właściwe dobranie wartości elementów elektrycznych, które mają odpowiadać impedancji żywej skóry.

Omówiony w niniejszym projekcie model jest prostym obwodem, który miał za zadanie stanowić elektryczny odpowiednik skóry ludzkiej. Jego podstawową i zarazem najważniejszą funkcją było imitowanie właściwości impedancyjnych skóry. Chcąc uzyskać jeszcze dokładniejsze odwzorowanie właściwości impedancyjnych skóry można by rozpatrzeć modele złożone z większej ilości elementów elektrycznych, jednakże zastosowany w projekcie model spełnia w dużym stopniu swoją funkcję.

PODSUMOWANIE

Niniejszy projekt dotyczył stworzenia wirtualnego stanowiska laboratoryjnego do modelowania właściwości impedancyjnych skóry. Projekt skupiał się wokół właściwości impedancyjnych skóry, koncepcji modelu, stworzeniu programu, przeprowadzenia procesu modelowania oraz analizie wyników. Efektem pracy było stworzenie programu będącego wirtualnym stanowiskiem laboratoryjnym do modelowania właściwości impedancyjnych skóry w środowisku LabVIEW.

W projekcie właściwości impedancyjne skóry zostały scharakteryzowane przy pomocy modelu opisowego, ze względu na to, że odzwierciedla on skórę za pomocą powszechnych elementów elektrycznych.

Stanowisko laboratoryjne powstało w programie LabVIEW, ponieważ program ten posiada wiele możliwości oraz funkcji przydatnych podczas modelowania oraz zapewnia komfort użytkownika. Wygląd programu do modelowania dostosowano w ten sposób, aby mógł on przypominać fizyczne stanowisko laboratoryjne z pewnymi uproszczeniami. Stanowisko to złożone jest z wirtualnego: generatora napięć sinusoidalnych, obwodów elektrycznych, tabeli wyników, przycisków, a także wskaźników i regulatorów. Zaletą programu jest automatyczne przeliczanie w tabeli parametrów obwodu. Najważniejszym aspektem programu jest opcja dopasowywania wartości elementów obwodu tak, aby można było dobrać wartość impedancji dla danej wartości częstotliwości. Na podstawie pomiarów impedancji prawdziwej skóry odbywa się dobór elementów modelu. Przeprowadzenie modelowania pozwala na analizę parametrów charakteryzujących model oraz pozwala na wyznaczenie charakterystyk. Analizowanie skóry jako obwodu elektrycznego jest bardzo praktyczne jeśli chodzi o poznanie natury impedancyjnej skóry ludzkiej, z tego względu zaprojektowane wirtualne stanowisko do modelowania może posłużyć również jako ćwiczenie laboratoryjne dla studentów.

Stworzony program może służyć pomocą dla naukowców zajmujących się badaniem wpływu prądu elektrycznego na skórę ludzką. Naukowcy chcąc sprawdzić wyniki impedancji przeprowadzone na żywej skórze, mogą z pomocą programu przeanalizować wartości oporu rzeczywistego, wartości oporu reaktancyjnego wraz z innymi parametrami elektrycznymi badanej tkanki. Wielkości te są szczególnie istotne podczas badania stanów czynnościowych skóry. Znajomość wartości parametrów elektrycznych pozwala stwierdzić obecność takich patologii jak: stan zapalny skóry, choroby skóry (twardzina, porażenia połowiczne itp.). Można także dokonać sprawdzenia wpływu kremów, żeli oraz kosmetyków na dane wielkości elektryczne.

LITERATURA

- [1] Draelos Z. D., Pugliese P., *Fizjologia skóry. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo MEDPHARM, Wrocław 2014
- [2] *Skóra*, <https://epodreczniki.pl/a/DZQ3VGmLg>, zasoby z dnia 09.05.2019
- [3] Birgersson U., *Electrical impedance of human skin and tissue alterations: mathematical modelling and measurements*, Wydawnictwo Karolinska Institutet, Stockholm 2012
- [4] Aberg P., *Skin cancer as seen by electrical impedance*, Wydawnictwo Karolinska Institutet, Stockholm 2004
- [5] Rosell J., Colominas J., Riu P., Pallas-Areny R., Webster J. G., *Skin impedance from 1Hz to 1MHz*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 35, no. 8, 1988, pp. 649–651

- [6] Grimnes S., Martinsen Ø. G., *Bioimpedance & Bioelectricity Basic*, Third Edition, Academic Press, Oslo 2014
- [7] Bolkowski S., *Elektrotechnika*, WSiP, Warszawa 2014
- [8] Glinkowska B., *Modelowanie w procesach usprawniania organizacji – uwagi teoretyczno-metodyczne*, Wydawnictwo Acta Universitatis Lodzianis Folia Oeconomica, nr 234, 2010, 255–264
- [9] Tłacza W., *Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo*, WNT, Warszawa 2014.

PROJEKT INTELIGENTNEJ WYTRAWIARKI PŁYTEK PCB STEROWANEJ PRZEZ WIFI

WSTĘP

W życiu każdego elektronika przychodzi moment, w którym chciałby wykonać swój zaprojektowany układ profesjonalnie. Montowanie układów na płytkach prototypowych jest niepraktyczne, niestabilne i zajmuje dużo miejsca. Korzystanie z uniwersalnych płytek drukowanych powoduje komplikacje w dowolnym prowadzeniu ścieżek oraz ogranicza wymiary projektowanej płytki PCB. Zamawianie płytek samodzielnie zaprojektowanych jest kosztowne i czasochłonne, a czasami wymogiem jest szybkie wykonanie projektu.

Obecnie istnieje moda na urządzenia określane mianem „inteligentnych” lub z angielskiego „smart”. Są to urządzenia, które komunikują się z innymi urządzeniami poprzez różnego rodzaju sieci (najczęściej internetowe) i wymieniają między sobą dane. Rozwój tej technologii oraz jej dostępność powoduje, że sami możemy wykonywać takie urządzenia niewielkim kosztem. Niniejszą wytrawiarkę można uznać za inteligentną, ponieważ jej sterowanie odbywa się za pomocą telefonu z zainstalowaną aplikacją poprzez sieć WIFI.

ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Budowana wytrawiarka do płytek PCB powinna cechować się dużą funkcjonalnością przy możliwie niskich kosztach budowy. Funkcje jakie winna oferować to utrzymywanie zadanej temperatury czynnika wytrawiającego oraz jego ruch. Ponadto powinna umożliwiać wytrawianie płytek przez określony czas, po którym nastąpi wyłączenie programu.

Aby obniżyć koszt budowy zdecydowano się na utworzenie panelu sterowania w aplikacji mobilnej Blynk. Takie rozwiązanie pozwala na uniknięcie dodatkowych kosztów zakupu przycisków, wyświetlaczy oraz potencjometrów, a także umożliwia większą miniaturyzację projektu.

Wymogiem do poprawnego działania wytrawiarki jest:

- smartfon z systemem operacyjnym Android lub iOS,
- dostępna sieć WIFI (np. stworzona przez router),
- zasilanie 230 V.

Do podgrzewania czynnika wytrawiającego wykorzystano grzałkę akwariową o mocy 100 W (Rys. 1). W celu podtrzymania zadanej temperatury zdecydowano się na budowę termostatu opierającego się o pomiar temperatury

¹Politechnika Lubelska, WEiI, tomasz.korycki@pollub.edu.pl

przez termistor NTC 10 k Ω . Ruch czynnika wytrawiającego jest zapewniony przez napowietrzacz akwariowy (Rys. 1). Obieg płynu nie jest niezbędny, ale wskazany w celu utrzymania równomiernego rozkładu temperatury w całej objętości cieczy oraz przyspieszenia i zwiększenia dokładności wytrawiania.



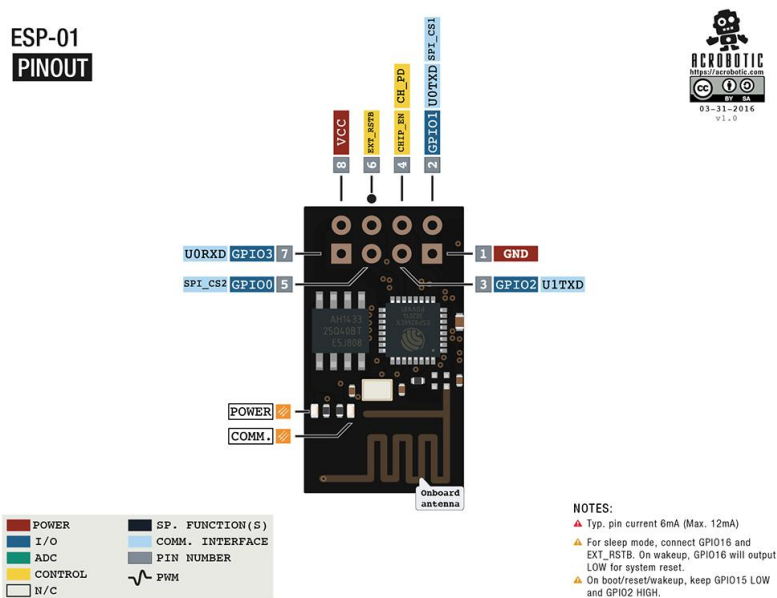
Rys. 1. Grzałka akwariowa 100 W (z lewej) oraz napowietrzacz akwariowy (z prawej)

UKŁAD STEROWANIA

Jednym z założeń jest sterowanie poprzez sieć WIFI. Aby zapewnić łączność układu sterowania z aplikacją mobilną należy wyposażyć projektowaną wytrawiarke w moduł WIFI. Zdecydowano się na wykorzystanie modułu ESP-01 (Rys. 2). Znajduje się na nim układ scalony ESP8266 o taktowaniu CPU 80 MHz. Moduł jest wyposażony w 4 złącza GPIO, procesor 80 MHz, 1MB pamięci Flash oraz WIFI w standardzie IEEE 802.11 b/g/n. Układ ten jest zasilany napięciem 3,3 V [6].

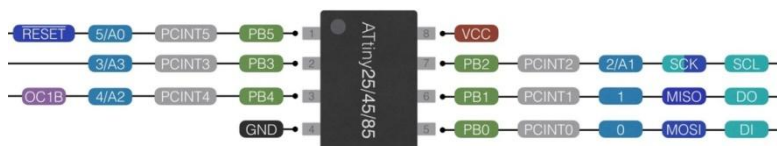
Niestety ograniczona liczba wyjść modułu uniemożliwia sterowanie wszystkimi podzespołami. Wadą jest również brak przetwornika ADC, który posłuży do odczytu temperatury (rezystancji) przez termistor. W celu rozszerzenia liczby wymaganych portów wejść i wyjść zastosowano układ Attiny85 (Rys. 3). Układ znajduje się w obudowie DIP-8 i posiada 5 programowalnych wejść lub wyjść oraz przetworniki ADC. Posiada 8 kB pamięci Flash oraz może być zasilany napięciem 3,3 V lub 5 V [5]. W celu zapewnienia kompatybilności z modułem ESP-01 zdecydowano się na zasilanie Attiny85 napięciem 3,3 V. Układy te są połączone ze sobą za pomocą szyny I2C w układzie master (ESP-01) – slave (Attiny85).

Szyna I2C wymaga do działania dwóch pinów – SDA oraz SCL. W module ESP-01 piny te ustala się w kodzie programu. W tym przypadku zdecydowano się na GPIO0 (pin 5) – SCL oraz GPIO2 (pin 3) – SDA. W Attiny85 piny SDA i SCL są fabrycznie przypisane kolejno do pinów 5 oraz 7.



Rys. 2. Moduł WIFI ESP-01 [6]

ATTiny25/45/85 pinout

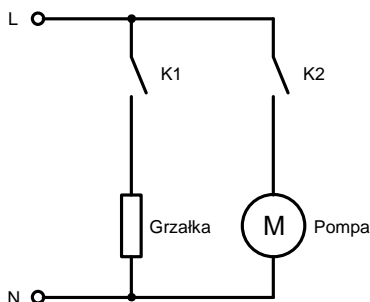


Rys. 3. Układ scalony Attiny85 [7]

Do wyjść mikroprocesora Attiny85 zostały podłączone dwa przełączniki. Jeden z nich służy do włączania i wyłączania grzałki, drugi do włączania i wyłączania pompy (Rys. 4). Attiny85 posiada również wejścia analogowe. Jedno z nich zostało wykorzystane do odczytu temperatury z termistora NTC 10 kΩ.

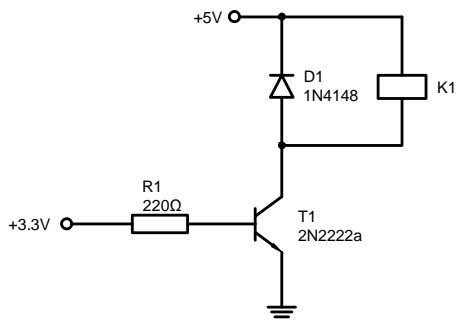
W przypadku dwóch pozostałych wolnych pinów w module ESP-01, do jednego z nich został podłączony przycisk monostabilny. Gdy przycisk jest załączony w momencie włączania wytrawiarci, moduł ESP-01 tworzy sieć WIFI. Po podłączeniu do tej sieci i wpisaniu w przeglądarkę adresu IP widocznego na przednim panelu wytrawiarci jest możliwość wyboru sieci WIFI, do której urządzenie ma się łączyć w trakcie normalnej pracy. Do ostatniego

wolnego pinu w module została podłączona dioda LED (niebieska) sygnalizująca status sieci WIFI.

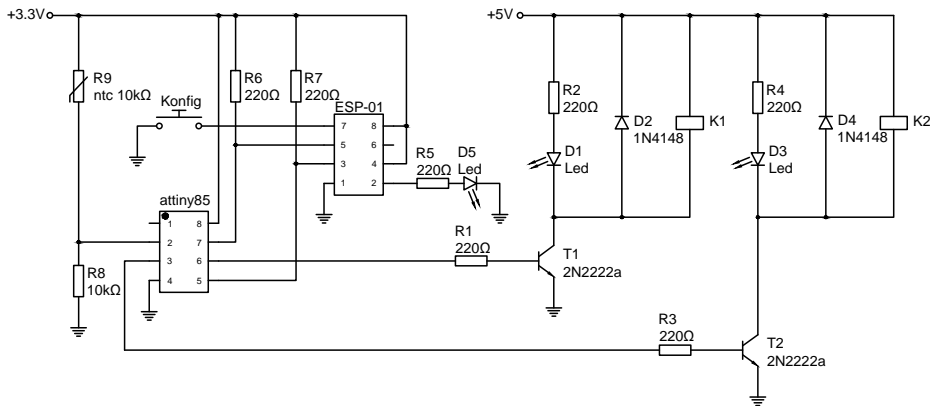


Rys. 4. Sterowanie grzałką i pompą za pomocą przekaźników

Układ sterujący jest zasilany napięciem sieciowym 230 V. Zasilanie układów scalonych na poziomie 3,3 V jest zapewnione przez przetwornicę AC/DC z 230 na 5 V, a następnie poprzez regulator liniowy LF33CV do poziomu 3,3 V. Cewki przekaźników są zasilane napięciem 5 V co uniemożliwia ich bezpośrednie podłączenie do wyjść mikrokontrolera Attiny85. W tym celu wykorzystano tranzystory 2N2222a, których zadaniem było załączanie cewek przekaźników za pomocą sygnału sterującego 3,3 V (Rys. 5). Na schemacie widać diodę połączoną równolegle z cewką przekaźnika, jednak jest ona połączona w kierunku zaporowym. Jej celem jest zapobiegnięcie uszkodzenia tranzystora. W momencie rozłączania cewki pod wpływem istniejącego w środku pola magnetycznego, na jej zaciskach indukuje się napięcie o przeciwnych biegunach do zasilania. W tym momencie całe indukowane napięcie odkłada się właśnie na diodzie. Do cewek przekaźników równolegle podłączono diody LED sygnalizujące załączanie wybranych urządzeń. Cały schemat elektryczny przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Wykorzystanie tranzystora do sterowania cewką przekaźnika

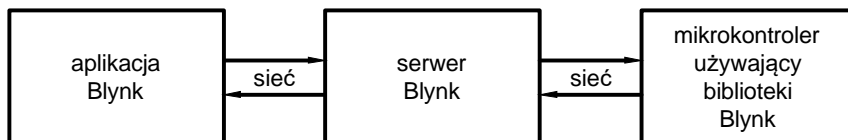


Rys. 6. Schemat układu sterowania inteligentnej wytrawiarki płytek PCB

INTERAKTYWNY PANEL STERUJĄCY

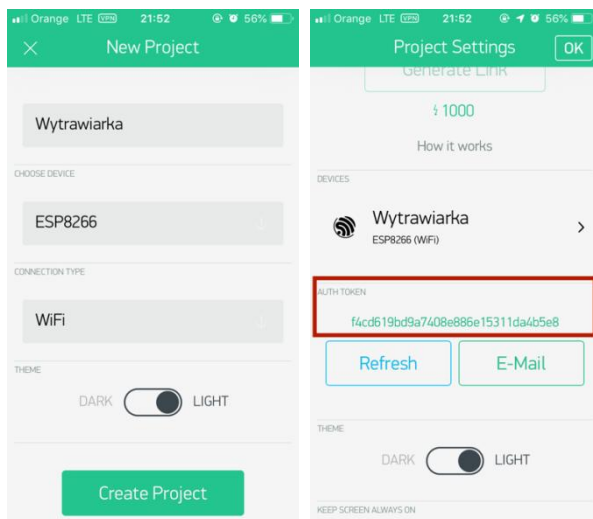
Panel sterujący został wykonany przy pomocy aplikacji Blynk dostępnej na smartfony z systemem Android oraz iOS. Aplikacja umożliwia tworzenie rozbudowanych interfejsów graficznych do sterowania i kontroli mikrokontrolerów podłączonych do Internetu [4].

Cały program sterujący wytrawiarką został napisany w języku C++ wykorzystując Framework Arduino. Kod źródłowy układu sterującego wytrawiarką jest dostępny pod linkiem: <http://tiny.cc/i73s7y>. Oprócz Framework Arduino została wykorzystana biblioteka Blynk służąca do obsługi komunikacji mikrokontrolera z aplikacją w telefonie. Działanie całego systemu jest oparte architekturę klient-serwer (Rys. 7). Uruchamiając aplikację Blynk w telefonie wyświetla się panel logowania i możliwość wyboru serwera. Można wybrać serwer ogólnodostępny oferowany przez producenta aplikacji lub stworzyć własny pobierając odpowiednie pliki ze strony blynk.cc. Zaletą korzystania z serwera oferowanego przez wydawcę aplikacji Blynk jest jego ogólna dostępność i łatwość konfiguracji. Wadą jest brak możliwości stworzenia rozbudowanego panelu bez wnoszenia opłat.



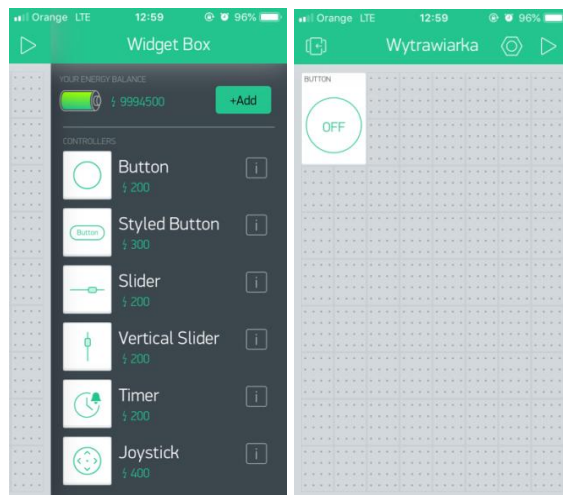
Rys. 7. Zasada działania komunikacji między aplikacją, a wytrawiarką

Stworzenie własnego serwera nie jest problematyczne, ale wymaga pewnych umiejętności oraz dodatkowego sprzętu, na którym serwer będzie uruchomiony (np.: Raspberry Pi, Banana Pi itp.). Ponadto, jeżeli wymogiem jest, aby sterowanie przez aplikację odbywało się poza obrębem sieci, w której znajduje się serwer i wytrawiarka (np. sieci domowej WIFI), wymagane jest posiadanie publicznego adresu IP. Posiadanie własnego serwera posiada jednak wiele zalet. Można tworzyć bardzo rozbudowane panele sterujące bez wnoszenia opłat, a serwer pozwala na wiele możliwości konfiguracji. Tworząc panel przez aplikację Blynk należy wybrać mikrokontroler, którym będzie się sterować oraz rodzaj połączenia (Rys. 8). Po wybraniu tych elementów aplikacja generuje token do autoryzacji mikrokontrolera z panelem sterującym (Rys. 8). Token należy skopiować oraz wkleić w odpowiednie miejsce w kodzie źródłowym programu wytrawiarki. Po pomyślnym utworzeniu projektu można przystąpić do budowania interaktywnego panelu. Budowa polega na przeciągnięciu elementów z listy na siatkę programu (Rys. 9).



Rys. 8. Wybór urządzenia sterującego i rodzaju połączenia (po lewej), wygenerowany token do autoryzacji (po prawej)

Na liście jest dostępnych około 50 elementów takich jak przyciski, różnego rodzaju wyświetlacze lub suwaki. Aplikacja posiada własną walutę zwaną jednostkami energii i oznaczaną symbolem „⚡”. Jak widać na rysunku 9 przy każdym z elementów widnieje jego cena, a na górze listy posiadane saldo. Przy korzystaniu z serwera wydawcy aplikacji Blynk na każdy projekt otrzymamy 1000 ⚡ co uniemożliwia tworzenie rozbudowanych paneli. Walutę można dokupić klikając przycisk „+Add” i wnosząc opłatę za wybrany pakiet. Własny serwer umożliwia ustawienie dowolnej wartości salda bez konieczności płacenia za jednostki energii.

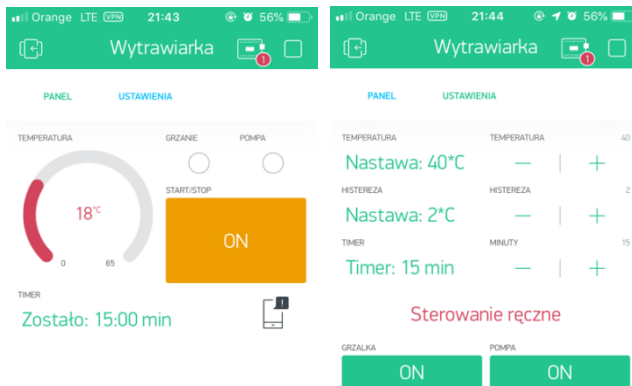


Rys. 9. Proces budowania interaktywnego panelu sterowania

Po umieszczeniu elementu na siatce programu, klikając w niego otworzy się okno z preferencjami tego elementu. W tym przypadku jest to przycisk i w preferencjach można ustawić nazwę przycisku, którym pinem ma sterować oraz jakiego jest typu (mono lub bistabilny) (Rys. 10). Efekt końcowy został przedstawiony na rysunku 11. Aplikacja umożliwia wyświetlanie bieżącej temperatury czynnika wytrawiającego, ustawienie temperatury termostatu oraz histerezy. Ponadto istnieje możliwość ustawienia czasu timera po upływie, którego grzałka oraz pompa zostaną wyłączone, a użytkownik zostanie o tym poinformowany poprzez powiadomienie w telefonie.



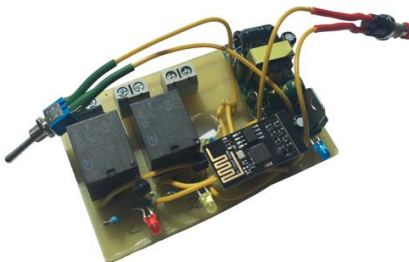
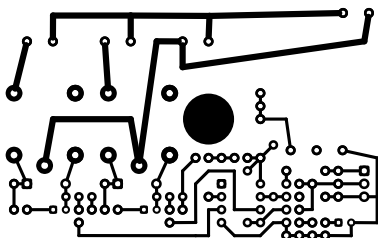
Rys. 10. Edycja ustawień przycisku



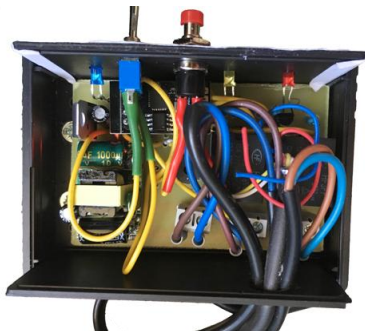
Rys. 11. Interaktywny panel do sterowania wytrawiarki

MONTAŻ WYTRAWIARKI

Po zaprojektowaniu układu sterującego oraz wykonaniu interaktywnego panelu sterującego nadszedł czas złożenia wszystkiego w całość. Układ sterujący został wykonany na płytce PCB (Rys. 12) i umieszczony w obudowie (Rys. 13).



Rys. 12. Projekt ścieżek na płytce PCB (z lewej) oraz zmontowany układ (z prawej)



Rys. 13. Zmontowany układ sterowania w obudowie (z lewej) oraz panel przedni układu (z prawej)

Termistor NTC mierzący temperaturę jest zanurzony cały czas w czynniku wytrawiającym co wymaga szczelnego zaizolowania go przed cieczą. W tym celu miejsca połączenia termistora z przewodami zalano gorącym klejem, a następnie założono opaskę termokurczliwą (Rys. 14). Akwarium, w którym znajduje się środek wytrawiający jest umieszczone w specjalnych uchwytach na płycie wiórowej (Rys. 15). Przed akwarium do płyty została przytwierdzona obudowa z układem sterującym, a także pompa napowietrzająca.

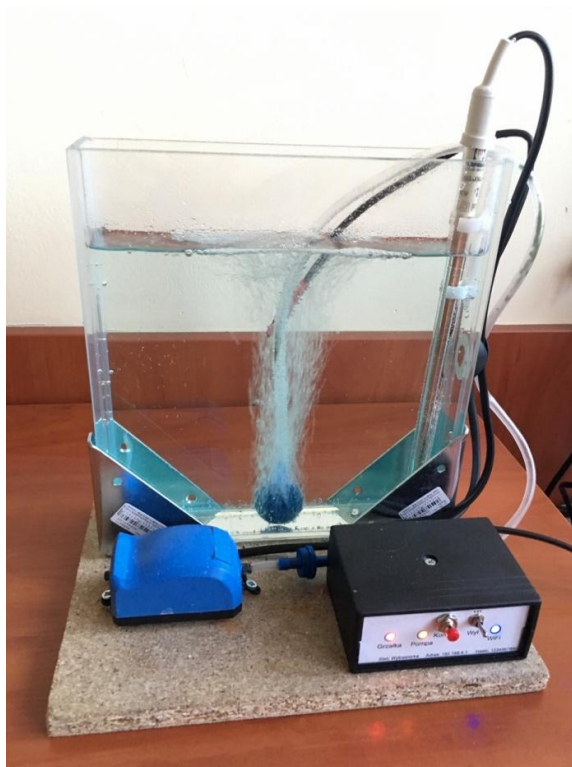
Przewody od grzałki i napowietrzacza zostały wprowadzone do obudowy układu sterującego przez otwór znajdujący się z tyłu. Żyły przewodów zostały zakończone końcówkami zaciskowymi i podłączone do odpowiadających im złącz na płytce PCB. W pełni zmontowaną i działającą inteligentną wytrawiarke do płytek PCB przedstawiono na rysunku 16.



Rys. 14. Termistor NTC 10 k Ω przygotowany do pracy w czynniku wytrawiającym



Rys. 15. Uchwyt do akwarium na płycie wiórowej



Rys. 16. Efekt końcowy – wytrawiarka podczas pracy

KOSZT WYKONANIA WYTRAWIARKI

Podstawowym założeniem projektu miało być jej tanie wykonanie i duża funkcjonalność. W tabeli 1 zestawiono spis elementów wykorzystanych przy budowie wytrawiarki. Zestawienie nie obejmuje kosztów wykorzystanych narzędzi oraz przewodów.

Tabela 1. Zestawienie elementów wykorzystanych do budowy wytrawiarki

L.p.	Nazwa elementu	Liczba	Cena
1	Rezystor 220 Ω	7	2,10 zł
2	Rezystor 10 k Ω	1	0,30 zł
3	Attiny85	1	5,40 zł
4	ESP-01	1	6,13 zł
5	Przetwornica AC/DC	1	3,40 zł
6	Regulator liniowy LF33CV	1	2,40 zł
7	Przycisk monostabilny	1	2,90 zł

L.p.	Nazwa elementu	Liczba	Cena
8	Przełącznik	1	2,00 zł
9	Laminat	1	5,50 zł
10	Termistor NTC 10 k Ω	1	0,50 zł
11	Kondensator 10 uF	1	0,20 zł
12	kondensator 100 pF	1	0,20 zł
13	Przełącznik 5V	2	5,00 zł
14	Tranzystor 2n2222a	2	2,00 zł
15	Dioda LED Niebieska	1	0,30 zł
16	Dioda LED Żółta	1	0,30 zł
17	Dioda LED Czerwona	1	0,30 zł
18	Złącze goldpin żeńskie	1	2,20 zł
19	Złącze ARK	3	1,80 zł
20	Dioda 1N4148	2	0,50 zł
21	Obudowa	1	5,50 zł
22	Uchwyt kątowy	4	4,00 zł
23	Napowietrzacz akwariowy	1	13,00 zł
24	Grzałka akwariowa	1	10,00 zł
25	Akwarium	1	30,00 zł
26	Płyta wiórowa	1	4,00 zł
		SUMA	109,93 zł

PODSUMOWANIE

Założenia projektu zostały osiągnięte. Zbudowana inteligentna wytrawiarka znacząco ułatwia proces wykonywania projektów i wdrażania ich w życie przez hobbystów, a także przez osoby zajmujące się elektroniką zawodowo.

Koszt wykonania wytrawiarki wyniósł ok. 110 zł. Jest to relatywnie niska cena w porównaniu do gotowych rozwiązań, które zaczynają się od 600 zł. Gotowe produkty w cenie od 600 zł do 1000 zł nie oferują żadnych innych funkcji poza założonymi w tym projekcie.

Dodatkowym atutem jest możliwość sterowania funkcjami wytrawiarki przez aplikację w telefonie. Sterowanie aplikacją umożliwia także ewentualną późniejszą rozbudowę układu sterującego o nowe elementy.

LITERATURA

- [1] Anderson R., Cervo D., *Arduino dla zaawansowanych*, Helion, Gliwice, 2014
- [2] Monk S., *Arduino dla początkujących: podstawy i szkice*, Helion, Gliwice, 2014
- [3] www.arduino.cc, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [4] www.blynk.io, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [5] <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATtiny85>, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [6] <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [7] <https://github.com/blynkkk/blynk-server>, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [8] https://cdn.shopify.com/s/files/1/2930/7174/files/esp8266_esp01_horizontal-01.png?v=1518748041, zasoby z dnia 6.06.2019 r.
- [9] http://homemadehardware.com/img/attiny85_pinout.jpeg, zasoby z dnia 6.06.2019 r.

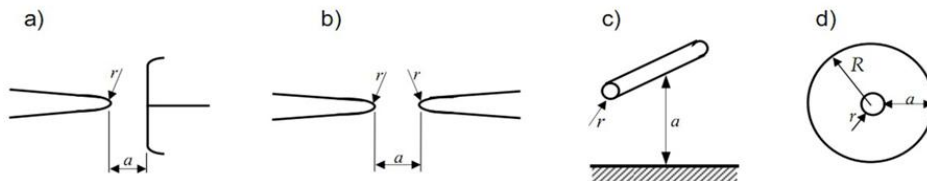
STANOWISKO LABORATORYJNE DO BADAŃ ZJAWISKA ULOTU W ELEKTROENERGETYCZNYCH LINIACH NAPOWIETRZNYCH

WSTĘP

Zjawiskiem ulotu elektrycznego nazywane jest wyładowanie elektryczne niezupełne w powietrzu pojawiające się w miejscach gdzie pole elektryczne jest niejednostajne. Zaprezentowane w pracy stanowisko pozwala badać wybrane parametry ulotu w modelowanym układzie linii napowietrznej.

ULOT ELEKTRYCZNY

Na niejednostajność pola wpływają znaczące krzywizny elektrod ulotowych za które mogą posłużyć ostre krawędzie elementów lub przewody o małym polu przekroju r znajdujące się w sąsiedztwie a od elektrody odniesienia, przy założeniu, że $a \gg r$. Przykładowe konfiguracje elektrod ulotowych i odniesienia ukazuje rysunek 1.

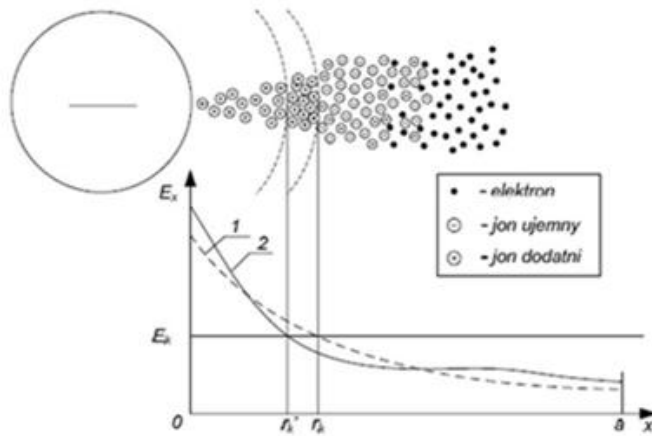


Rys. 1. Typowe przykłady występowania ulotu. Układ : a) ostrze – płaszczyzna, b) ostrze – ostrze, c) przewód – płaszczyzna, d) walce współosiowe [1]

Ulot w liniach napowietrznych jest główną przyczyną strat mocy czynnej. W związku z tym nie można pominąć zjawiska ulotu przy projektowaniu linii napowietrznej o napięciu znamionowym powyżej 220 kV. Zjawisko jest znamionym efektem występującym w otoczeniu przewodów fazowych linii napowietrznych wysokich, a także najwyższych napięć, jednak występują one zarówno na izolatorach czy iskiernikach, oraz są wytwarzane w komorach elektrofiltrów. Istotnym faktem wpływającym na rozwój wyładowania ulotowego jest polaryzacja elektrody ulotowej. Korzystając z napięcia stałego można opisać dwa rodzaje ulotu: dodatni i ujemny.

¹Politechnika Lubelska, WEiI, Damian.kostyla@pollub.edu.pl

Polaryzacja elektrody ulotowej wpływa na mechanizm powstawania wyładowania ulotowego przez co natężenia początkowe pole elektrycznego wyładowczego są różne. Dla biegunowości ujemnej elektrody elektrony niezbędne do zapoczątkowania lawin elektronowych produkowane są przy niższych wartościach natężenia pola elektrycznego, na co wpływ ma nasilenie procesów jonizacyjnych w przestrzeni przyelektrodowej. Biegunowość dodatnia powoduje, że lawiny elektronowo przesuwają się w kierunku anody ze strefy o niższej wartości pola elektrycznego [2, 3]. Wpływ polaryzacji elektrody ulotowej na mechanizm powstania wyładowania zostały pokazane na rysunkach 2 oraz 3.

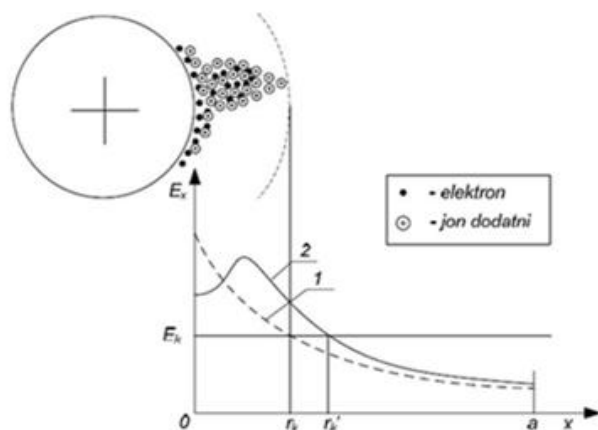


Rys. 2. Rozwój wyładowania ulotowego podczas wyładowań niepełnych z ujemnej elektrody ulotowej: 1 – pole pierwotne; 2 – pole zakłócone; r_k – zasięg strefy ulotowej bez uwzględnienia ładunku przestrzennego; r_k' – zasięg strefy ulotowej z uwzględnieniem ładunku przestrzennego; a – odstęp międzyelektrodowy; E_k – krytyczne natężenie pola elektrycznego [4]

Pole w pobliżu katody zostaje osłabione przez ładunek przestrzenny, a wzmocnione dookoła niej. W miejscach, gdzie natężenie pola elektrycznego osiąga wartości krytyczne, obszar przemieszcza się w stronę katody. Wyładowanie powstaje w niewielkim kanale w którym pojawiają się strimery w podobnych odstępach czasu, zwykle rzędu mikro sekund. Zwiększenie napięcia powoduje wzrost intensywności formowania lawin elektronowych, przez co impulsy prądowe przechodzą w ulot ciągły. [3]

Gdy elektroda posiada dodatnią polaryzację przy przyłożonym napięciu stałym to lawiny elektronowe przemieszczają się w kierunku wzrostu natężenia pola elektrycznego. W momencie dotarcia lawiny do anody powstaje kanał strimera anodowego. Wzmocnione, dodatnim ładunkiem elektrycznym, pole

elektryczne, umożliwia powstawanie nowych lawin w kierunku anody, jednak w pewnej odległości proces ten zostaje zatrzymany.



Rys. 3. Rozwój wyładowania ulotowego podczas wyładowań niezpełnych z dodatniej elektrody ulotowej. 1 – pole pierwotne; 2 – pole zakłócone; r_k – zasięg strefy ulotowej bez uwzględnienia ładunku przestrzennego; r_k' – zasięg strefy ulotowej z uwzględnieniem ładunku przestrzennego; a – odstęp międzyelektrodowy; E_k – krytyczne natężenie pola elektrycznego [4]

Zachodzi to w miejscu gdzie natężenie pola ma wartość mniejszą niż natężenie początkowej jonizacji zderzeniowej. Pojawia się wtedy światlenie, a prąd osiąga wartość proporcjonalną do ładunku lawiny o amplitudzie rzędu kilkunastu mili amperów (mA), czasie trwania w granicy mikro sekund (μ s), oraz częstotliwości kilkudziesięciu tysięcy na sekundę. Podczas zwiększania napięcia następuje wzmożenie częstotliwości występowania strimerów, aż do chwili przemiany wyładowań w ulot ciągły w pobliżu anody.

SKUTKI ZJAWISKA ULOTU LOT ELEKTRYCZNY

HAŁAS

Wyładowania koronowe to nie tylko straty energii w elektroenergetycznych liniach wysokich oraz najwyższych napięć. To także zakłócenia z którymi można się zetknąć na co dzień. Najbardziej charakterystycznym zjawiskiem towarzyszącym zjawiskowi ulotu jest hałas w paśmie słyszalnym, którego wartość, w sprzyjających warunkach pogodowych, wynosi około 30–40 dB, a w złych, podczas deszczu czy dużej wilgotności powietrza, osiąga nawet 55 dB. Dopuszczalne normy hałasu emitowane przez linie energetyczne określa Ustawa Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001r. oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska. Normy te przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku emitowanego przez linie energetyczne

L.p.	Rodzaj terenu	L_{DWN}	L_N	L_{AeqD}	L_{AeqN}
1	a) strefa ochronna A uzdrowiska b) teren szpitali, domów opieki społecznej c) tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży	45	40	45	40
2	a) tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego b) tereny rekreacyjno-wypoczynkowe c) tereny mieszkaniowo-usługowe d) tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	50	45	50	45

Oznaczenia użyte w tabeli:

L_{DWN} długookresowy średni poziom dźwięku A przedstawiony w decybelach (dB), wyznaczony we wszystkich dobach roku, w trakcie dnia od godz. 6⁰⁰ do godz. 18⁰⁰, w porach wieczornych od godz. 18⁰⁰ do godz. 22⁰⁰ oraz w nocy od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰;

L_N długookresowy średni poziom dźwięku A określony w decybelach (dB), wyznaczony we wszystkich porach nocy w roku od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰;

L_{AeqD} współmierny poziom dźwięku A dla pory dnia od godz. 6⁰⁰. Do godz. 22⁰⁰;

L_{AeqN} współmierny poziom dźwięku A dla pory nocy do godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰.

ZAKŁÓCENIA RADIOELEKTRYCZNE

Kolejnym zjawiskiem, obok hałasu, towarzyszącym ulotowi, są zakłócenia radioelektryczne powstałe na skutek wytwarzanych przez wyładowanie ulotowe impulsów prądowych, których przebieg czasowy opisuje wzór 1:

$$i(t) = I_m \left(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \quad (1)$$

gdzie: T_1 , T_2 – stałe czasowe czoła i grzbietu impulsu; I_m – wartość szczytowa impulsu.

Przy częstotliwości fal średnich w zakresie od 0,1 MHz do 1 MHz elektroenergetyczna linia napowietrzna powoduje najwięcej zakłóceń podczas wyładowania koronowego. Wzór numer 2 pozwala obliczyć wartość zakłóceń elektroenergetycznych przy częstotliwości ω w stosunku do wyładowań ulotowych na danym elemencie dx przewodu:

$$i(\omega)dx = CG(\omega)dx \quad (2)$$

gdzie: C – pojemność jednostki długości linii względem ziemi, $i(\omega)$ – prąd ulotu zależny od częstotliwości, $G(\omega)$ – funkcja charakteryzująca warunki generowania zakłóceń elektromagnetycznych w danych warunkach eksploatacyjnych.

Polska Norma [6] zamieszcza zalecenie dotyczące dopuszczalnego poziomu natężenia zakłóceń spowodowanych ulotem: „...poziom zakłóceń mierzonych w odległości 20 m od rzutu poziomego skrajnego przewodu fazowego linii elektroenergetycznej przy częstotliwości 0,5 MHz nie powinien przekraczać 57,3 dB w warunkach atmosferycznych o wilgotności względnej nie większej niż 80% i temperaturze nie niższej niż 5°C.”

Wartość natężenia zakłóceń radioelektrycznych, wywołanych przez linię przemysłową wysokiego napięcia oblicza się przy pomocy wzoru:

$$Z_R = 50 + k(E_m - 16,95) + 17,36 \ln \frac{d}{3,93} + A_1 + 13,89 \ln \frac{20}{D} + A_2 \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

gdzie: E_m – maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego na powierzchni przewodu, ($kV \cdot cm^{-1}$); d – średnica przewodu [cm]; k – współczynnik równy 3,5 dla napięć 220 kV i 400 kV oraz równy 3 dla napięcia 750 kV; A_1 – współczynnik równy 4 dB – dla pojedynczego przewodu oraz równy $4,34221 \cdot \ln(0,25n)$ – dla przewodu wiązkowego gdzie n jest liczbą przewodów we wiązce ($n > 1$); D – odległość przewodu fazowego od anteny $D = \sqrt{h^2 + R^2}$ (m); h – wysokość zawieszenia przewodów fazowych linii napowietrznej nad ziemią (m); R – odległość pomiędzy anteną i najbliższym przewodem fazowym na powierzchni ziemi; A_2 – współczynnik zależny od stanu pogody, $A_2 = 0$ – sucho, $A_2 = 17$ deszcz, wilgoć.

KOROZJA

Nie pomijalnym aspektem ulotu jest korozja przewodów w liniach napowietrznych wysokich oraz najwyższych napięć powodująca wzrost rezystancji. Przyrost ten ma stosunkowo szeroki przedział i na jego działanie ma wpływ wiele czynników m.in.:

- budowa przewodu,
- wiek linii,
- warunki atmosferyczne.

Jonizacja powietrza w sąsiedztwie przewodów powoduje wysyłanie fal elektromagnetycznych o małej długości powodujących powstawanie tlenu O_3 , czyli ozonu. Za sprawą utleniania powstają również tlenki N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , które w połączeniu z dużą wilgotnością powietrza tworzą kwas azotowy prowadzący do korozji przewodów: [2]

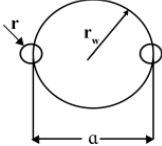
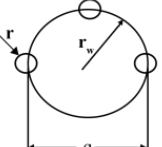
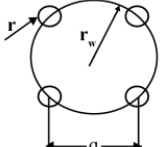
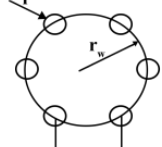


METODY OGRANICZANIA STRAT ULOTOWYCH

Celem ograniczenia negatywnego oddziaływania zjawiska ulotu, zarówno na otoczenie jak i na samą linię stosuje się wiele zabiegów ograniczających jego wpływ. Wyróżnia się trzy główne metody ograniczania ulotu w liniach wysokiego i najwyższego napięcia.

- Zmniejszenie krzywizn części metalowych co powoduje ujednoczenie rozkładu pola, tym samym zmniejszając ilość potencjalnych miejsc, gdzie może nastąpić wyładowanie.
- Użycie przewodów o większych średnicach.
- Zastosowanie więcej niż jednego przewodu w fazie wraz z porównywalnie mniejszą odległością pomiędzy przewodami niż elementami uziemionymi sprawia, że promień zastępczy znacząco się zwiększa, a zatem do powstania ulotu wymagane będzie znacząco wyższe napięcie. Sytuację tę obrazuje tabela 2 zawierająca wzory stosowane do wyliczania promieni zastępczych.

Tabela 2. Promienie zastępcze wiązek n – przewodowych [7]

Przewód wiązkowy	Liczba przewodów w wiązce n	Promień wiązki r_w	Promień zastępczy wiązki r_2
	2	$\frac{a}{2}$	$\sqrt{a \cdot r}$
	3	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	$\sqrt[3]{a^2 \cdot r}$
	4	$\frac{1}{2}\sqrt{2} \cdot a$	$\sqrt[3]{2} \cdot \sqrt[4]{a^3 \cdot r}$
	6	a	$\sqrt[6]{6} \cdot \sqrt[6]{a^5 \cdot r}$

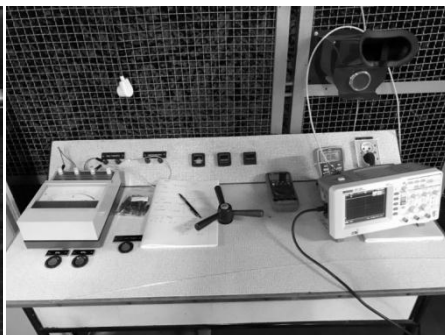
BADANIE ULOTU METODĄ OPTYCZNA Z ZASTOSOWANIEM FOTOOGNIWA

W związku z powstającym światleniem wokół linii na której powstaje wyładowanie ulotowe podjęto decyzję o przebadaniu układu ostrze-ostrze, fotoogniwem połączonym z oscyloskopem. Układ umieszczono w zacienionej

celi laboratoryjnej. Po wystąpieniu wyładowania ulotowego miało ono trafić na powierzchnię fotodiody, co pozwoliłoby zaobserwować przebieg napięcia na oscyloskopie.



Rys. 4. Układ do testów ogniwa fotowoltaicznego



Rys. 5. pomiarowe do testów ogniwa fotowoltaicznego

Przeprowadzone na stanowisku pomiary nie można uznać za wiarygodne ze względu na bardzo duże szумы obecne podczas pomiarów oraz problemy z odpowiednim zacienieniem celki pomiarowej. Kolejną próbą wykrywania wyładowań niezupełnych było użycie Analizatora Spektrum, jednak ze względów bezpieczeństwa zaprzestano badań tym urządzeniem. Niestety prowadzenie pomiarów z otwartą celką jest niedozwolone, natomiast przy zamkniętej odczyt z miernika jest niemiernodajny, gdyż celka działa jak klatka Faradaya.

STANOWISKO LABORATORYJNE

Ze względu na brak zadowalających wyników pomiarów podjęto decyzję o budowie nowego stanowiska pomiarowego, które poprzez metodę akustyczną pozwoli na badanie napięcia wystąpienia ulotu, oraz na obserwację zachowania linii podczas wyładowania.



Rys. 6. Model rzeczywisty stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko wykonano z podstawy iskiernika połączonego z prętami nawierconymi co 1cm pozwalającymi na wetknięcie przewodu. Pozwala to badać różne konfiguracje odległości przewodów oraz zaobserwować jak to się przekłada na wystąpienie i zachowanie wyładowania ulotowego. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 3 oraz 4.

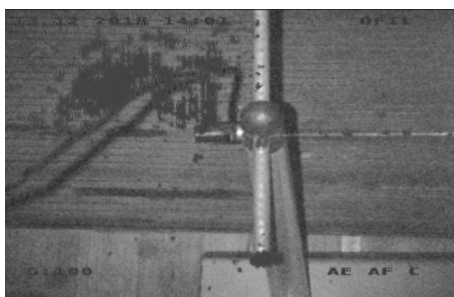
Tabela 3. Wyniki pomiaru napięcia ulotu metodą akustyczną

L.p	1 przewód	2 przewody	3 przewody
	U	U	U
	V	V	V
1	41000	39500	39000
2	41000	38500	39500
3	43500	38000	37000
4	40000	38000	38000
5	42000	39500	38000
Średnia	41500	38700	38300

Wyniki otrzymane podczas badania uloty na modelu nie są idealne ze względu na duże natężenie pola elektrycznego panujące w laboratorium oraz znaczącą ilość elementów uziemionych w sąsiedztwie modelu, jednak pozwalają one stwierdzić, że układ działa poprawnie. W związku z otrzymaniem zadowalających wyników pomiarów, podjęto decyzję o przebadaniu układu kamerą do badania wyładowań niezupełnych. Wyniki pomiarów kamerą przedstawiają rysunki 7 i 8.



Rys. 7. Ulot pojawiający się na przewodzie (plamki wokół przewodu)



Rys. 8. Ulot występujący przy zacisku zasilającym oraz z elementów ostrych

Badanie kamerą wykazało pewne niedoskonałości w działaniu układu, które należało zniwelować, tak, aby ulot wydobywał się, w miarę możliwości, jedynie z przewodu. W tym celu na końcach prętów zastosowano nawiercone kule, wyrównujące rozkład pola elektrycznego, oraz zastosowano osłonę polimerową

dla przewodu zasilającego. Po tych modernizacjach układ prezentuje się następująco – Rys. 9.



Rys. 9. Stanowisko laboratoryjne po modernizacji

Po wykonaniu modernizacji przystąpiono do pomiarów napięcia przemiennego jak i stałego.

POMIAR NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO I STAŁEGO

Pomiaru napięcia przemiennego dokonano dla różnych konfiguracji przewodów o średnicy 0,18 mm. Zgodnie z założeniem, wzrastająca ilość przewodów powoduje zwiększenie napięcia wystąpienia ulotu. Trójkątna konfiguracja przewodów mieści się pomiędzy wartościami pomiarowymi dla modelu dwu i trzyprzewodowego. Wyniki pomiarów przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Pomiar napięcia ulotu dla różnych konfiguracji przewodów

LP	1 przewód	2 przewody	3 przewody	Trójkąt
	U	U	U	U
	V	V	V	V
1	19950	27200	31350	28550
2	19750	26600	31300	30050
3	20000	27150	31400	28550

4	19600	27050	31350	27550
5	19800	27250	31350	26400
Średnia	19820	27050	31350	28220

Pomiaru napięcia stałego dokonano przy zasilaniu układu z prostownika, który można zobaczyć na rysunku 10. Niestety prostownik pozwalał jedynie na konfigurację napięcia zasilającego w kierunku dodatnim



Rys. 10. Prostownik wysokiego napięcia zasilający stanowisko

Wyniki pomiarów napięcia ulotu dla polaryzacji napięcia stałego w kierunku dodatnim przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Pomiar napięcia ulotu przy stałym napięciu zasilania

LP	1przewód	2przewody	3 przewody
	U	U	U
	V	V	V
1	43500	45250	52550
2	44250	50350	52000
3	44850	49200	52000
Średnia	44200	48266,67	52183,33

Pomiar napięcia wystąpienia ulotu dla napięcia stałego, podobnie jak dla napięcia przemiennego, okazują się prawidłowy i zgodny z założeniami

teoretycznymi. Z prostownika o mniejszym napięciu uzyskano pomiary dla polaryzacji, zarówno dodatniej, jak i ujemnej.

Tabela 6. Pomiary napięcia ulotu przy dodatniej polaryzacji napięcia zasilania

Polaryzacja +				
LP	Trójkąt	1 przewód	2 przewody	3 przewody
	U	U	U	U
	V	V	V	V
1	28340	30520	25342,5	19620
2	27795	27795	25070	19620
3	27795	34062,5	25206,25	19620
Średnia	27976,67	30792,5	25206,25	19620

Tabela 7. Pomiary napięcia ulotu przy ujemnej polaryzacji napięcia zasilania

Polaryzacja -				
LP	Trójkąt	1 przewód	2 przewody	3 przewody
	U	U	U	U
	V	V	V	V
1	31065	29975	27250	21255
2	31065	28885	26705	21255
3	29975	28885	27250	20165
Średnia	30701,67	29248,33	27068,33	20891,67

BADANIE ULOTU NA LINII USZKODZONEJ

Ostatnim poruszonym, przy badaniu ulotu, aspektem, był wpływ uszkodzenia linii na wystąpienie oraz na napięcie ulotu. Pomiarów dokonano zarówno dla napięcia przemiennego jak i dla napięcia stałego, a efekty badań zostały przedstawione w tabelach 8–11.

Tabela 8. Linia skorodowana – napięcie przemiennie

LP	1przewód	2przewody	3 przewody
	U	U	U
	V	V	V
1	20150	25750	30750
2	19600	25350	29250
3	19900	25700	29300
Średnia	19983,33	25600	29766,67

Tabela 9. Porównanie napięć wystąpienia ulotu – napięcie przemienne

Przed korozją		Po korozji	
LP	1 przewód	LP	1 przewód
	U		U
	V		V
1	20450	1	19950
2	19600	2	19750
3	19900	3	20000
Średnia	19983,33	Średnia	19820

Tabela 10. Linia skorodowana – napięcie stałe

LP	1 przewód	2 przewody	3 przewody
	U	U	U
	V	V	V
1	26950	32000	38350
2	26450	32300	41450
3	26500	31900	41850
Średnia	26633,33	32066,67	40550

Tabela 11. Porównanie napięć wystąpienia ulotu – napięcie stałe

Linia nie uszkodzona		Linia uszkodzona	
LP	3 przewody	LP	3 przewody
	U		U
	V		V
1	38350	1	52550
2	41450	2	52000
3	41850	3	52000
Średnia	40550	Średnia	52183,33

WNIOSKI

Elektroenergetyczne sieci wysokich napięć służą do przesyłu energii na dużych odległościach. Ważnym aspektem jest odpowiednie zaprojektowanie linii oraz zastosowanie specjalnych konstrukcji przewodów w celu ochrony przed niechcianymi zakłóceniami. Postęp technologiczny spowodował, że

energia elektryczna wysokich oraz najwyższych napięć transportowana jest zarówno liniami napowietrznymi oraz kablowymi, dlatego tak istotnym elementem jest ograniczanie oraz ochrona przed oddziaływaniem wyładowań ulotowych.

LITERATURA

- [1] Szpor S., *Wytrzymałość elektryczna i technika izolacyjna*, Warszawa 1959
- [2] Gacek Zb., *Technika wysokich napięć*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1994
- [3] Flisowski Zd., *Technika wysokich napięć*, Wyd. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2015
- [4] Praca zbiorowa (Edited by V. Cooray), *The Lightning Flash*, The Institution of Electrical Engineers, London 2003
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z dnia 5 lipca 2007r.).
- [6] PN-93/T-06450, *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia i metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych*
- [7] Florkowska B., *Wytrzymałość elektryczna gazowych układów izolacyjnych wysokiego napięcia*, Wyd. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2003.

WYKORZYSTANIE MIKROKOMPUTERA RASPBERRY PI DO STEROWANIA PRZEKAŹNIKAMI ORAZ ODCZYTYWANIA SYGNAŁÓW ZEWNĘTRZNYCH

WSTĘP

W ostatnich latach sporą popularnością w tworzeniu projektów elektronicznych zyskały dwie platformy: mikrokontroler Arduino i mikrokomputer Raspberry Pi. Poniższy artykuł będzie dotyczył praktycznego wykorzystania tej drugiej platformy. Tak duża popularność wynika z kilku faktów: znacznego obniżenia ceny mikrokontrolerów i mikrokomputerów, utworzenia wielu materiałów szkoleniowych pomagających rozpoczęcie pracy z tymi platformami, rozwoju elektroniki.

WYKONANIE PROJEKTU

W ramach tego projektu podczas tworzenia programu posługiwano się językiem Python 3, jednak ze względu na to iż Raspberry można traktować jako zwykły komputer można się posługiwać dowolnym językiem programowania.

Do tworzenia interfejsu graficznego wykorzystano bibliotekę PyQt5, która wydała się najbardziej intuicyjna i dająca najlepsze efekty graficzne. Podczas tworzenia programu podjęto próbę użycia biblioteki Tkinter [1] jednak zarzucono ten pomysł ze względu na napotkane problemy: jak trudności w rozwiązaniu pewnych problemów, brak intuicyjności i niezadowolające efekty wizualne.

Do projektu wykorzystano dedykowany dla urządzenia system operacyjny Raspbian, choć możliwe było korzystanie z innych systemów operacyjnych jak np. Windows.

Program napisany w ramach projektu umożliwia sterowanie sześcioma przełącznikami, oraz odczytywanie stanów czterech sygnałów wejściowych co określony czas. Stan sygnału jest sygnalizowany kolorem odpowiedniego prostokąta w programie graficznym. Zastosowany ekran dotykowy jest przedstawiony na rysunku 1, a zastosowana obudowa na mikrokomputer z modułem przełączników na rysunku 2 [3, 4].

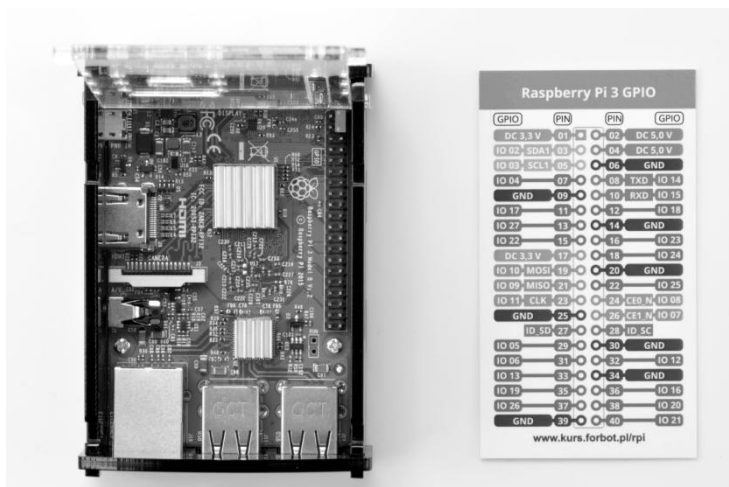
¹Politechnika Lubelska, WEiI, maciejmaksymiec@wp.pl



Rys. 1. Zastosowany ekran dotykowy



Rys. 2. Obudowa na Raspberry Pi z modulem przekaźników



Rys. 3. Raspberry Pi z oznaczeniami portów [2]

KOD PROGRAMU Z OPISEM

```
# Definiowanie kompilatora:
#!/usr/bin/python3
# Definiowanie kodowania znaków:
# -*- coding: utf-8 -*-
# Opcjonalnie - wymagane gdy chcemy stosować polskie znaki:
# from __future__ import unicode_literals
# Importowanie potrzebnych modułów z biblioteki PyQt5:
from PyQt5 import QtGui, QtCore
from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QDesktopWidget, \
QWidget, QTimeEdit, QLabel, QGridLayout, QPushButton,
QMessageBox
from PyQt5.QtCore import Qt
# Umożliwienie sterowania portami we/ wy w Raspberry Pi:
import RPi.GPIO as GPIO
# Utworzenie tablicy używanych portów:
# 1) wyjściowych:
Relay = [5, 6, 13, 16, 19, 20, 21, 26]
# 2) wejściowych:
Signal = [4, 17, 27, 22]
# Zdefiniowanie sposobu numeracji portów:
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
# Ustalenie, czy potrzeba, aby ostrzeżenia były wyświetlane:
GPIO.setwarnings(False)
# Ustawienie portów wyjściowych:
for i in range(0, 8):
    GPIO.setup(Relay[i], GPIO.OUT)
    GPIO.output(Relay[i], GPIO.HIGH)
# Ustawienie portów wejściowych:
for i in range(0, 4):
    GPIO.setup(Signal[i], GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
# Wprowadzenie definicji:
def dzialanie1(wartosc):
    ifwartosc:
        GPIO.output(Relay[0], GPIO.LOW)
    else:
        GPIO.output(Relay[0], GPIO.HIGH)
def dzialanie2(wartosc):
    ifwartosc:
        GPIO.output(Relay[1], GPIO.LOW)
    else:
        GPIO.output(Relay[1], GPIO.HIGH)
def dzialanie3(wartosc):
    ifwartosc:
        GPIO.output(Relay[2], GPIO.LOW)
    else:
        GPIO.output(Relay[2], GPIO.HIGH)
def dzialanie4(wartosc):
    ifwartosc:
        GPIO.output(Relay[3], GPIO.LOW)
    else:
        GPIO.output(Relay[3], GPIO.HIGH)
def dzialanie5(wartosc):
    ifwartosc:
        GPIO.output(Relay[4], GPIO.LOW)
    else:
        GPIO.output(Relay[4], GPIO.HIGH)
def dzialanie6(wartosc):
    ifwartosc:
```

```

GPIO.output(Relay[5], GPIO.LOW)
else:
GPIO.output(Relay[5], GPIO.HIGH)
# Wprowadzenie klasy programu:
class Sterowanie(QWidget):
    def __init__(self, parent=None):
        super(Sterowanie, self).__init__(parent)
# ścieżka do grafiki zamieszczonej w programie
self.imagePath = "/usr/local/sbin/logo.png"
self.timer = QtCore.QTimer(self)
self.etykieta1 = QLabel("Signal 1", self)
self.etykieta2 = QLabel("Signal 2", self)
self.etykieta3 = QLabel("Signal 3", self)
self.etykieta4 = QLabel("Signal 4", self)
self.interfejs()
def interfejs(self):
    image = QtGui.QImage(self.imagePath)
    # etykiety
    logo = QLabel(self)
    logo.setPixmap(QtGui.QPixmap.fromImage(image))
    logo.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    tytul1 = QLabel("Program sterujący\n i nadzorujący ",
self)
    tytul2 = QLabel("Sygnały wejściowe", self)
    # style etykiet
    logo.setFixedHeight(120)
    tytul1.setFixedHeight(100)
    self.etykieta1.setFixedHeight(120)
    self.etykieta1.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    self.etykieta2.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    self.etykieta3.setFixedHeight(120)
    self.etykieta3.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    self.etykieta4.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    tytul1.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    tytul2.setAlignment(Qt.AlignCenter)
    # przyciski
    btn1 = QPushButton("Relay\n 1", self)
    btn2 = QPushButton("Relay\n 2", self)
    btn3 = QPushButton("Relay\n 3", self)
    btn4 = QPushButton("Relay\n 4", self)
    btn5 = QPushButton("Relay\n 5", self)
    btn6 = QPushButton("Relay\n 6", self)
# ustawienie, aby przyciski były dwu stanowe
btn1.setCheckable(True)
    btn2.setCheckable(True)
    btn3.setCheckable(True)
    btn4.setCheckable(True)
    btn5.setCheckable(True)
    btn6.setCheckable(True)
    # style przycisków
    btn1.setFixedWidth(180)
    btn1.setFixedHeight(120)
    btn2.setFixedWidth(180)
    btn2.setFixedHeight(120)
    btn3.setFixedWidth(180)
    btn3.setFixedHeight(120)
    btn4.setFixedHeight(120)
    btn5.setFixedHeight(120)
    btn6.setFixedHeight(120)
    btn2.setStyleSheet('color:red')

```

```

        btn3.setStyleSheet('color:blue')
        btn4.setStyleSheet('color:green')
        btn6.setStyleSheet('color:orange')
        # rozmieszczenie
uklad = QGridLayout()
uklad.addWidget(btn1, 2, 0)
uklad.addWidget(btn2, 2, 1)
uklad.addWidget(btn3, 2, 2)
uklad.addWidget(btn4, 3, 0)
uklad.addWidget(btn5, 3, 1)
uklad.addWidget(btn6, 3, 2)
uklad.addWidget(self.etykieta1, 4, 0)
uklad.addWidget(self.etykieta2, 4, 2)
uklad.addWidget(self.etykieta3, 5, 0)
uklad.addWidget(self.etykieta4, 5, 2)
        # przypisanie utworzonego układu do okna
self.setLayout(uklad)
uklad.addWidget(logo, 0, 0, 1, 3)
uklad.addWidget(tytul1, 1, 0, 1, 3)
uklad.addWidget(tytul2, 4, 0, 2, 3)
        # rozmiar okna
self.setWindowTitle("Sterowanie")
        # pełnyekran ...showFullScreen, zwykłeokno - bez
FullScreen
self.showFullScreen()
        # sygnały
        btn1.clicked.connect(dzialanie1)
        btn2.clicked.connect(dzialanie2)
        btn3.clicked.connect(dzialanie3)
        btn4.clicked.connect(dzialanie4)
        btn5.clicked.connect(dzialanie5)
        btn6.clicked.connect(dzialanie6)
# ustawienie częstotliwości sprawdzania sygnałów
self.timer.timeout.connect(self.rows)
self.timer.start(1000)
def signals(self):
        self.signal1(GPIO.input(Signal[0]))
        self.signal2(GPIO.input(Signal[1]))
        self.signal3(GPIO.input(Signal[2]))
        self.signal4(GPIO.input(Signal[3]))
# komunikat o zamknięciu programu
        def closeEvent(self, event):
odp = QMessageBox.question(
self, 'Komunikat',
        "Czy na pewno chcesz zakończyć?",
QMessageBox.Yes | QMessageBox.No, QMessageBox.No)
if odp == QMessageBox.Yes:
        event.accept()
        GPIO.cleanup()
else:
        event.ignore()
def signal1(self, wartosc):
ifwartosc:
        self.etykieta1.setStyleSheet('color:white;background-
color:red')
else:
        self.etykieta1.setStyleSheet('color:red;background-
color:white')
def signal2(self, wartosc):
ifwartosc:

```

```

self.etykieta2.setStyleSheet('color:white;background-
color:red')
else:
self.etykieta2.setStyleSheet('color:red;background-
color:white')
def signal3(self, wartosc):
ifwartosc:
self.etykieta3.setStyleSheet('color:white;background-
color:red')
else:
self.etykieta3.setStyleSheet('color:red;background-
color:white')
def signal4(self, wartosc):
ifwartosc:
self.etykieta4.setStyleSheet('color:white;background-
color:red')
else:
self.etykieta4.setStyleSheet('color:red;background-
color:white')
if __name__ == '__main__':
import sys
app = QApplication(sys.argv)
okno = Sterowanie()
sys.exit(app.exec_())

```

NAPOTKANE PROBLEMY

Zastosowanie oryginalnego zasilania jest ważną sprawą, gdyż gdy w ramach projektu testowano ładowarki telefoniczne system zawsze zgłaszał problem o zbyt niskim napięciu zasilania (ładowarki oczywiście bez obciążenia dają na wyjściu prawidłowe napięcie, jednak problemem jest wydajność prądowa samej ładowarki i spadki napięć na przewodzie zasilającym. Podczas testów regulowanego zasilacza montowanego na szynie: problemem była odległość od szafy z zasilaczem do mikrokomputera, gdyż zbyt długi przewód zasilający powodował znaczny spadek napięcia pod obciążeniem, gdyż nawet regulując napięcie powyżej dopuszczalnego dla mikrokomputera, ten po włączeniu pokazywał komunikat o zbyt niskim napięciu. Rozwiązaniem problemu, było użycie oryginalnego zasilacza podłączonego do przedłużacza napięcia sieciowego.

Działanie programu na komputerze z Windowsem może się różnić od działania programu na Raspberry co należy brać pod uwagę pisząc program. Aby mieć pewność, że program zadziała poprawnie najlepiej pisać go od razu na działającym mikrokomputerze. Najwygodniejszym sposobem korzystania z mikrokomputera jest dostęp zdalny.

PODSUMOWANIE

Mikrokomputery mogą być z powodzeniem wykorzystywane do sterowania przekaźnikami oraz odczytywania sygnałów różnego typu. Cechą odróżniającą je od mikrokontrolerów jest posiadanie systemu operacyjnego, a co z tym idzie możliwość zastosowania skomplikowanego interfejsu graficznego programu.

Nauka programowania praktycznego pochłania ogromne ilości czasu. Pomimo tego, iż w Internecie można znaleźć wiele blogów tematycznych, czy kursów podstaw programowania, to jednak utworzenie nieco bardziej skomplikowanego programu sprawia wiele trudności, gdyż informacje znalezione w Internecie są bardzo podstawowe (np. [5]) i pomagają jedynie w utworzeniu najbardziej podstawowych programów. Podczas tworzenia własnego programu należy wykazać się pomysłowością, umiejętnością czytania ze zrozumieniem dokumentacji technicznej w językach obcych, wytrwałością i umiejętnością rozwiązywania problemów.

LITERATURA

- [1] Blog tematyczny, <https://forbot.pl/blog/raspberry-pi-vs-arduino-ktora-platforme-wybrac-id10439>, zasoby z dnia 21.03.2019
- [2] Blog tematyczny, <https://forbot.pl/blog/kurs-raspberry-pi-od-podstaw-wstep-spis-tresci-id23139>, zasoby z dnia 21.03.2019
- [3] Strona z informacjami na temat modułów rozszerzeń do Raspberry Pi, [https://www.waveshare.com/wiki/RPi_Relay_Board_\(B\)](https://www.waveshare.com/wiki/RPi_Relay_Board_(B)), zasoby z dnia 21.03.2019
- [4] Strona z informacjami na temat modułów rozszerzeń do Raspberry Pi, [https://www.waveshare.com/wiki/7inch_HDMI_LCD_\(H\)_\(with_case\)](https://www.waveshare.com/wiki/7inch_HDMI_LCD_(H)_(with_case)), zasoby z dnia 21.03.2019
- [5] *Kurs programowania*, python101.readthedocs.io/pl/latest/pyqt/widzety/index.html#, zasoby z dnia 21.03.2019.

BADANIE WIATROWEJ MIKROINSTALACJI WYTWÓRCZEJ

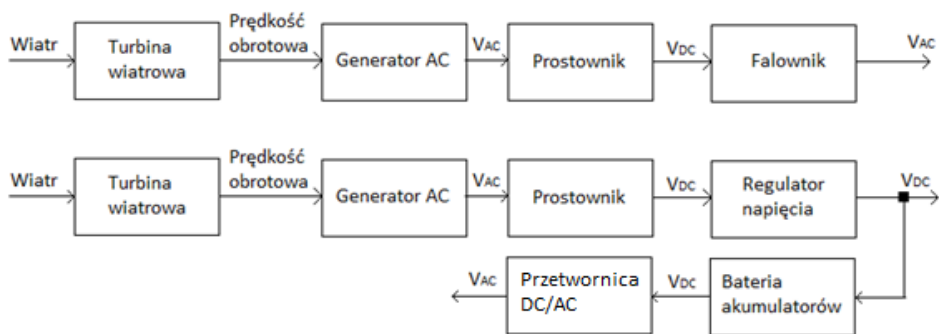
WSTĘP

Energia elektryczna czerpana z energii kinetycznej wiatru, jest obecnie jednym z najszybciej rozwijających sektorów energetyki odnawialnej na całym świecie. Rosnące ceny energii elektrycznej produkowanej z paliw kopalnych, czy restrykcje stawiane przez Unię Europejską, zachęcają coraz to większą grupę prywatnych inwestorów, do lokowania swojego kapitału w farmach wiatrowych, czy przydomowych mikroinstalacjach potrzeb własnych. Z roku na rok, owe instalacje stają się sprawniejsze, tańsze i bardziej ogólnodostępne [1].

W artykule zostanie przedstawiona budowa i pomiary dla wiatrowej mikroinstalacji, której generatorem jest trójfazowa prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi. Zaprezentowana zostanie konwersja energii kinetycznej wiatru, w energię elektryczną stosowaną w gospodarstwach domowych, uczelniach, przemyśle czy szpitalach. Współczesne społeczeństwo nie jest w stanie żyć bez energii elektrycznej, a pozyskiwanie jej z wiatru jest zdecydowanie przyszłością.

KONWERSJA ENERGII WIATRU W ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

Ogólna zasada konwersji energii kinetycznej wiatru w użyteczną energię elektryczną prądu stałego i przemiennego została przedstawiona poniżej [2].



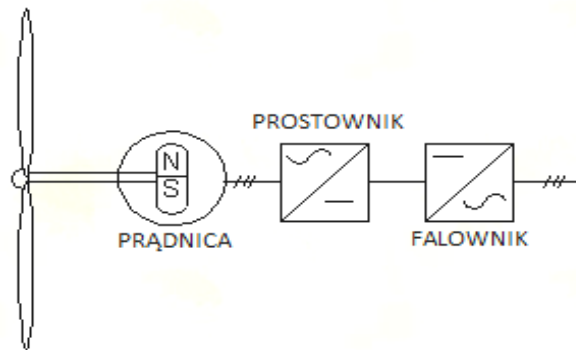
Rys. 1. Konwersja energii kinetycznej wiatru w energię elektryczną [4]

¹Politechnika Lubelska, WEiI, rafal.ragus@pollub.edu.pl

Energia wiatru powodująca obrót wirnika turbiny wiatrowej, która sprzężona jest z wałem generatora indukuje w uzwojeniach prądnicy synchronicznej napięcie przemiennie trójfazowe (AC). Następnie napięcie trafia na prostownik mostkowy 6-cio diodowy, gdzie jest „prostowane” na stałe DC. Następnie napięcie kierowane jest do regulatora ładowania lub falownika sieciowego. Regulator ładowania (współpracujący z baterią akumulatorów) utrzymuje stałą wartość napięcia stałego DC na wyjściu, niezależnie od wartości wejściowej. Natomiast falownik ma za zadanie zamienić napięcie stałe DC, w napięcie zgodne z nomami sieci elektroenergetycznej.

PRĄDNICE SYNCHRONICZNE PRZYSZŁOŚCIĄ

Obecnie w małych instalacjach wiatrowych zastosowanie znajdują trójfazowe prądnice synchroniczne prądu przemiennego z magnesami trwałymi, w których nie ma możliwości regulacji mocy wzbudzeniem, gdyż jest ono stałe [2].



Rys. 2. Trójfazowa prądnica synchroniczna wykorzystująca magnesy trwałe [2]

Trójfazowa prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi, zbudowana jest ze statora, na którego obwodzie umieszczone są uzwojenia, w których indukuje się napięcie przemiennie. Na obwodzie rotora umieszczone są magnesy trwałe. Powyższe rozwiązanie, ma szereg zalet, stawiającymi je nad konkurencyjnymi rozwiązaniami [3].

Zaliczyć do nich można:

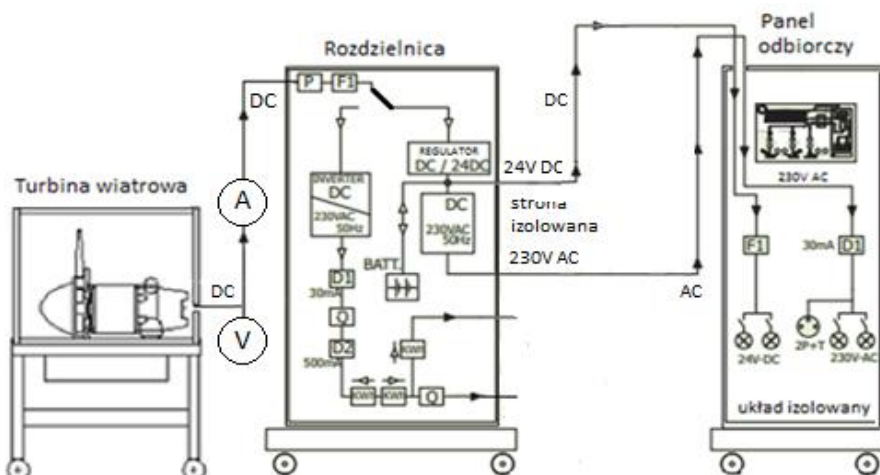
- generowanie mocy w całym zakresie obrotowym,
- wprowadzanie małej ilości zakłóceń do sieci elektroenergetycznej,
- prostota i niezawodność (brak uzwojeń wzbudzenia i wirnika),
- wysoka sprawność (brak strat na szczotkach i wzbudzeniu).

Rozwiązanie to posiada jednak kilka znaczących wad:

- kosztowne w produkcji,
- czułe na przeciążenia,
- strumień zależny od danych technicznych magnesów trwałych,
- trudność w regulacji napięcia wyjściowego.

UKŁAD IZOLOWANY

Napięcie trójfazowe na zaciskach wyjściowych generatora turbiny wiatrowej trafia do prostownika mostkowego, następnie do regulatora napięcia współpracującego z baterią akumulatorów. Napięcie przemiennego AC uzyskujemy z przetwornicy DC/AC, natomiast napięcie stałe z regulatora napięcia lub z baterii akumulatorów.

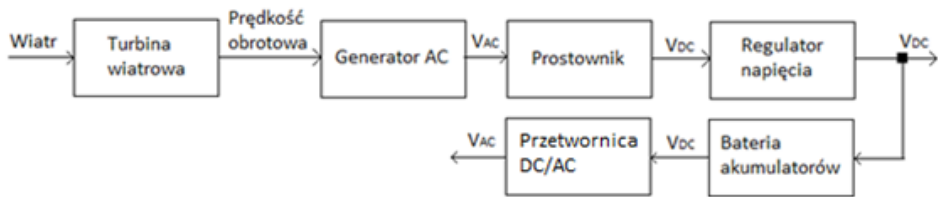


Rys. 3. Schemat poglądowy pracy w układzie izolowanym [5]

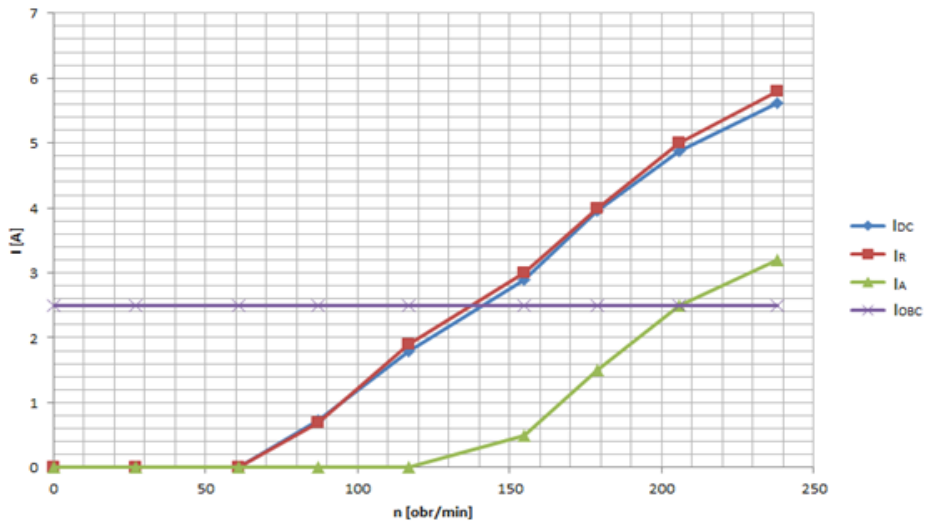
Tabela 1. Pomiary dla układu izolowanego

L.p.	f Hz	n RPM	U_{M-F} V	U_{DC} A	I_{DC} A	I_R A	I_A A	I_{OBC} A
1	0	0	0	0	0	0	0	2,5
2	5	27	8,8	11,6	0	0	0	2,5
3	10	61	16,7	22,6	0	0	0	2,5
4	15	87	20	25	0,72	0,7	0	2,5
5	20	117	21	25,3	1,8	1,9	0	2,5
6	25	155	21,8	25,7	2,9	3	0,5	2,5
7	30	179	22,5	26,1	3,95	4	1,5	2,5
8	35	206	23	26,4	4,87	5	2,5	2,5
9	40	238	23,4	26,7	5,61	5,8	3,2	2,5

gdzie: f – częstotliwość na wyjściu falownika, (powiew wiatru); n – prędkość obrotowa wirnika turbiny wiatrowej; U_{M-F} – napięcie międzyfazowe na wyjściu generatora; U_{DC} – napięcie stałe na wyjściu turbiny; I_{DC} – natężenie prądu na wyjściu turbiny; I_A – prąd ładowania akumulatorów; I_{OBC} – prąd obciążenia



Rys. 4. Schemat blokowy pracy w układzie izolowanym [4]



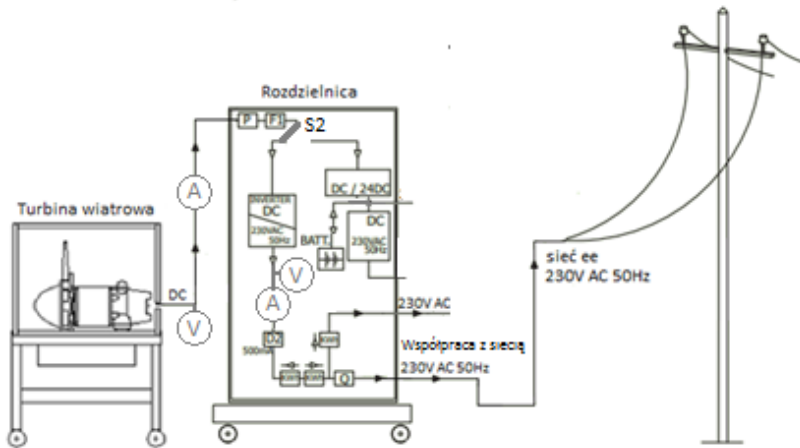
Rys. 5. Przebiegi natężenia prądów w układzie izolowanym

Niezbędnym elementem do poprawnej pracy regulatora napięcia jest sprawna bateria akumulatorów. Regulator zapobiega ich przeładowaniu i zbyt dużym rozładowaniu. Prąd na obciążeniu utrzymuje się na stałej wartości, z kolei wyprostowany prąd na wyjściu turbiny, pokrywa się z prądem dopływającym do regulatora. Pierwotnie, gdy wirnik turbiny się nie obraca, prąd pobierany jest tylko z baterii akumulatorów. W przypadku, gdy następuje pokrycie zapotrzebowania, prąd pobierany jest wyłącznie z turbiny wiatrowej. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika turbiny następuje przekroczenie popytu. Rozpoczyna się proces ładowania akumulatorów. Rosnący poziom naładowania, skutkuje zwiększeniem się napięcia na ich zaciskach wyjściowych. W momencie maksymalnego naładowania, prąd ładowania akumulatorów zbliża się do 0.

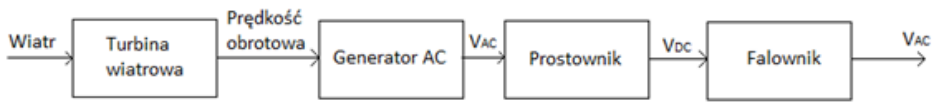
CAŁKOWITA ODSPRZEDAŻ ENERGII DO SIECI

Napięcie 3-fazowe na wyjściu generatora turbiny trafia do prostownika mostkowego 6-cio plusowego. Wyprostowane napięcie DC kierowane jest na zaciski wejściowe falownika sieciowego. Na wyjściu konwertera uzyskujemy

napięcie zgodne przesunięciem fazowym, amplitudą i częstotliwością, z normami panującymi w sieci elektroenergetycznej.



Rys.6. Schemat poglądowy całkowitej odsprzedaży energii do sieci [5]

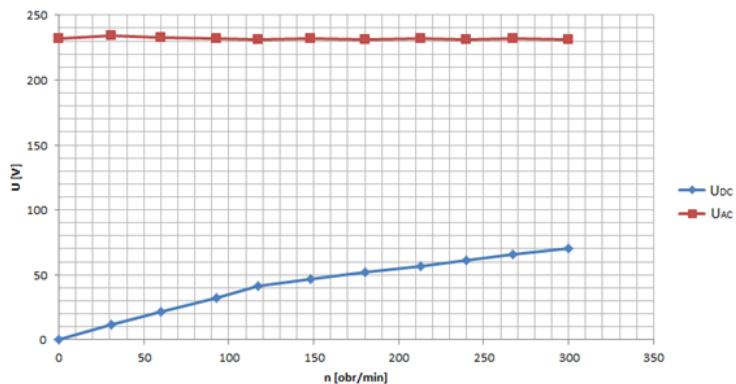


Rys. 7. Schemat blokowy całkowitej odsprzedaży energii do sieci [4]

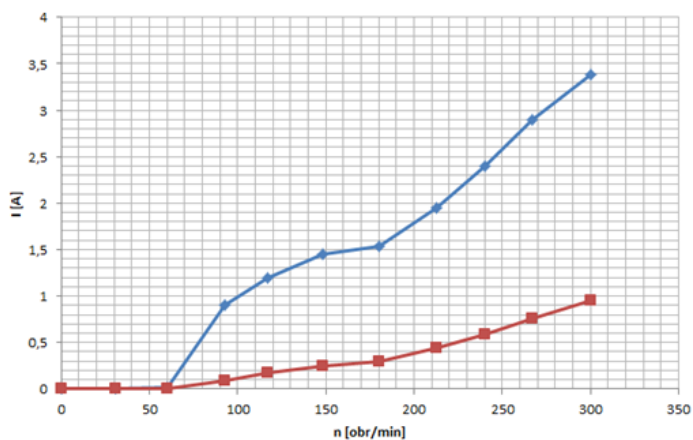
Tabela 2. Pomiary dla układu całkowitej odsprzedaży energii do sieci

Lp	f	n	U_{DC}	I_{DC}	U_{AC}	I_{AC}	P_{DC}	P_{AC}	η
	Hz	RPM	V	A	V	A	W	W	-
1	0	0	0	0	232	0	0	0	0
2	5	31	11,3	0	234	0	0,113	0	0
3	10	60	21,6	0	233	0	0,432	0	0
4	15	93	32,1	0,9	232	0,1	28,89	20,88	0,7
5	20	117	41,4	1,2	231	0,2	49,68	39,27	0,8
6	25	148	47	1,5	232	0,3	68,15	58	0,9
7	30	180	52,1	1,5	231	0,3	79,713	69,3	0,9
8	35	213	56,9	2	232	0,4	111	102,1	0,9
9	40	240	61,2	2,4	231	0,6	146,88	136,3	0,9
10	45	267	65,7	2,9	232	0,8	190,53	176,3	0,9
11	50	300	70	3,4	231	1	236,6	219,5	0,9

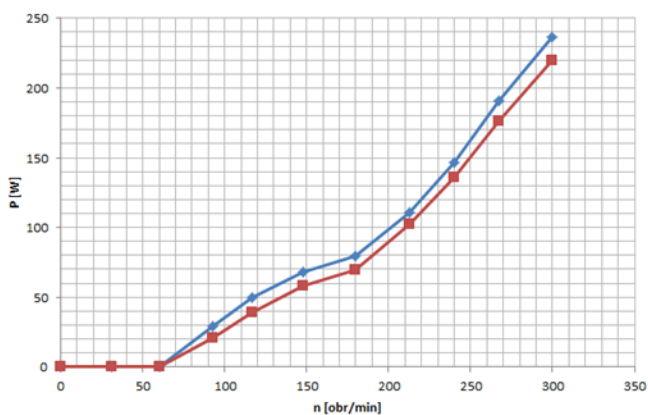
gdzie: U_{DC} / U_{AC} – napięcie na wejściu / wyjściu falownika; I_{DC}/I_{AC} – natężenie prądu na wejściu / wyjściu falownika; P_{DC} – moc na wejściu falownika; P_{AC} – moc na wyjściu falownika; η – sprawność inwertera.



Rys. 8. Napięcie na wejściu i wyjściu inwertera przy całkowitej odsprzedaży energii



Rys. 9. Prąd na wejściu i wyjściu inwertera przy całkowitej odsprzedaży energii do sieci



Rys. 10. Moc na wejściu i wyjściu inwertera przy całkowitej odsprzedaży energii do sieci

Przy małej prędkości obrotowej wirnika turbiny, prąd nie jest pobierany przez falownik, co powoduje, że moc oddana przez do sieci jest równa zero. W momencie wygenerowania napięcia na wyjściu turbiny równego, progu zadziała inwertera, moc zostaje powoli oddawana do sieci elektroenergetycznej. Wraz z wzrostem prędkości obrotowej moc ta wzrasta. Dla małych prędkości obrotowych wirnika turbiny sprawność falownika jest rzędu 70%. W przypadku osiągnięcia parametrów znamionowych przez inwerter i turbinę wiatrową, sprawność zbliża się do 90-ciu kilku %.

PODSUMOWANIE

Posiadając wiatrową mikroinstalację wytwórczą można wybrać pomiędzy wygenerowaną mocą która zostanie spożytkowana na użytek własny, czy częściową/całą mocą wygenerowaną do sieci elektroenergetycznej.

Układ izolowany wiąże się z większymi nakładami eksploatacyjnymi, większą ilością zabezpieczeń, bateriami akumulatorów (ulegają zużyciu, są wrażliwe na przeładowanie i zbyt duże rozładowanie) oraz zakupem regulatora ładowania. W przypadku całkowitej odsprzedaży, najslabszym i najdroższym ogniwem jest falownik, który odpowiednio zabezpieczony posłuży latami.

Cały świat dąży w kierunku ekologii i odnawialnych źródeł energii elektrycznej, a rozwój pozyskiwania jej z wiatru, jest bezapelacyjnie krokiem w lepszą przyszłość.

LITERATURA

- [1] Jakubiak J., Maciukiewicz R., Piasecka A., *Energia wiatrowa*, Wyd. RED A BOOK, Słupsk 2010
- [2] Pociask P., *Energia elektryczna z elektrowni wiatrowej*, Kraków 2007
- [3] <http://at-media.home.pl/mruwa/wiatraki/11.4/2.htm> – *Prądnice synchroniczne z magnesami trwałymi*, zasoby z dnia 27.05.2019 r.
- [4] <https://zielona-energia.cire.pl/st,6,28,tr,46,0,0,0,0,0,energia-wiatrowa.html>, *Budowa generatorów*, zasoby z dnia 16.05.2019 r.
- [5] <https://langlois-france.com/en/wind-turbine-energy/> *Parametry i charakterystyka turbiny wiatrowej i rozdzielniczy*, zasoby z dnia 26.01.2019 r.

WYZNACZENIE CHARAKTERYSTYKI DZIAŁANIA ZABEZPIECZENIA RÓŻNICOWEGO WZDŁUŻNEGO W TRANSFORMATORZE

WSTĘP

Transformatory energetyczne są jednym z najdroższych elementów systemu elektroenergetycznego, przez co dużą uwagę przywiązuję się na ciągłą kontrolę nad ich stanem pracy. Należy zwrócić uwagę, że transformatory pełnią ważną rolę w pracy całego systemu elektroenergetycznego, więc sprawne funkcjonowanie urządzenia stanowi ważny czynnik w niezawodności systemu. Celem diagnostyki jest zapobieganie uszkodzeniom urządzeń, a także identyfikacja groźnych zakłóceń i ich jak najszybsza eliminacja. Obecnie do zabezpieczenia tego typu urządzeń wykorzystuje się mikroprocesorowe zespoły automatyki zabezpieczeniowej i sterowniczej. [4]

W celu jak najlepszej konfiguracji przełącznika lub sprawdzenia jego prawidłowego działania wykorzystuje się urządzenia testujące, które symulują niechciane zjawiska, przykładowym urządzeniem tego typu jest Omicron CMC 356. Ciągły rozwój techniki doprowadza do stale rosnących restrykcji dotyczących zabezpieczeń urządzeń systemu elektroenergetycznego.

Ciągłość dostawy energii elektrycznej jest jednym z fundamentalnych funkcji systemu elektroenergetycznego, przez co dąży się do tego, aby zabezpieczenie nie wyłączało obszaru objętego zagrożeniem, lecz niwelowało zjawisko grożące bezpośrednio urządzeniu, jednocześnie nie powodując przerwy w dostawie energii elektrycznej do odbiorców. Nie ulega wątpliwości, że konieczna jest okresowa kontrola działania i diagnostyka przełączników zabezpieczeniowych, aby zapewnić bezawaryjność urządzeń pracujących w systemie elektroenergetycznym.

ZABEZPIECZENIA RÓŻNICOWE

Zabezpieczenie to należy do bardzo dokładnych urządzeń, podczas odpowiedniej regulacji czułości jest w stanie wyłączyć wszystkie zwarcia znajdujące się w strefie ochrony, zaś nie powoduje wyłączenia w trakcie przepływów prądów wyrównawczych. Zasada działania oparta jest na pomiarze różnicy prądów na wejściu i na wyjściu urządzenia chronionego. [1]

Nieustający rozwój elektroniki zaowocował również w zabezpieczeniach różnicowych, dzięki czemu dziś możemy w lepszy sposób chronić urządzeniami

¹Politechnika Lubelska, WEiI, Damian.Jedynak@pollub.edu.pl

przed skutkami zwarć wieloprądowymi, poprzez zastosowanie zabezpieczeń cyfrowych m.in. takich jak MUPASZ 7.R2. Omawiane zabezpieczenia charakteryzują się łatwiejszym sposobem wyrównania prądów w sprawie faz oraz amplitudy, dochodzi do tego poprzez odpowiednią konfigurację programową, czym zajmiemy się w dalszej części artykułu. Przy odpowiednim zaprogramowaniu należy zwrócić szczególną uwagę na charakterystykę rozruchową zabezpieczenie oraz dość ważnym elementem jest odpowiedni czas blokowania zadziałania zabezpieczenie.

PROGRAMOWALNY PRZEKAŹNIK MUPASZ 7.R2

Wielofunkcyjny programowalny sterownik połowy MUPASZ 7.R2 jest powszechnym mikroprocesorowym urządzeniem, którego zadaniem jest zabezpieczenie, pomiar, a także jeśli jest taka konieczność to sterowanie. Skonfigurowanie większości z zabezpieczeń jest możliwa z wbudowanego systemu w przełączniku. Wyjątkiem jest między innymi badane zabezpieczenie różnicowe, które do nastawienia odpowiednich wartości potrzebuje połączenia z komputerem i zaprogramowania go z interfejsu programu Delfin. Warto w tym miejscu podać przedziały nastaw, tak aby przełącznik działał jako zabezpieczenie różnicowe, znajdując się w tabeli 1. [3]

Tabela 1. Nastawy zabezpieczenia różnicowego przełącznika Mupasz 7.R2

Parametr	Blok generator-transformator
I_{rp}	0,80
I_r	10,00
K_{h1}	0,30
K_{h5}	0,50
I_{2h}	0,30
I_{5h}	0,25

gdzie: I_{rp} – początkowy prąd charakterystyki rozruchowej, I_r – prąd rozruchowy, K_{h1} , K_{h5} – współczynnik nachylenia charakterystyki rozruchowej, I_{2h} – współczynnik blokady od udarów prądu magnesującego, I_{5h} – współczynnik blokady podczas przewzbudzenia transformatora.



Rys. 1. Widok panelu sterującego przełącznika zabezpieczającego MUPASZ 7.R2 [3]

Równie ważnym parametrem podczas konfiguracji przełącznika zabezpieczającego są współczynniki charakterystyki stabilizacji, które określają punkt załamania wspomnianego wcześniej wykresu, przy czym ustalają kąt linii pomiędzy kolejnymi nastawionymi pomiarami. Producent sugeruje nastawę współczynników w granicach 0,5. Udarы prądów magnesujących oraz zjawisko przewzbudzenia transformatora są dość groźnymi stanami w pracy transformatora, aby ich uniknąć należy dobrać odpowiednie współczynniki blokady drugiej i piątej harmonicznej. W przypadku blokady od udarów magnesujących współczynnik można obliczyć ze stosunku drugiej harmonicznej, zaś w przypadku nasycenia się rdzenia transformatora jest to stosunek piątej harmonicznej do podstawowej w prądzie różnicowym.

TESTER OMICRON CMC 356

Wykorzystane urządzenie podczas badania to CMC 356, które jest przeznaczone do testowania zabezpieczeń, przetworników pomiarowych, liczników energii elektrycznej oraz analizatorów jakości energii. Odpowiednie zaprogramowanie urządzenia umożliwia nam oprogramowanie testowe OMICRON Test Universe, które można nastawić poprzez użycie PC. Wspomniany program jest zdolny do sterowania sygnałami, tworzenia raportów, gromadzenie danych pomiarowych, a także do wytwarzania danych wejściowych [11].



Rys. 2. Widok płyty czołowej wymuszalnika CMC 356[2]

Poruszane urządzenie posiada zdolność do tworzenia sygnałów prądowych i napięciowych, a także sygnałów binarnych. Możliwe jest doprowadzenie do badanego obiektu napięcie DC oraz w trakcie analizy mierzy odpowiedzi urządzenia testowanego. Warto zwrócić uwagę, że dzięki swoim funkcjom jest w stanie przebadать różnego rodzaju zabezpieczenia, oraz odwzorować niechciane stany pracy takie jak zwarcia czy też kołysania mocy. Symulację zjawisk w testerze umożliwiają wyjścia generatorów sygnałów wyjściowych. Tester jest wyposażony w cztery wyjścia napięciowe z dwoma przewodami neutralnym połączonym ze sobą galwanicznie, a także w dwa wyjścia prądowe

z oddzielnymi przewodami neutralnymi. Omówione wyjścia wymuszałnika są chronione poprzez wykorzystanie zabezpieczenia termicznego, który podczas przegrzania spowoduje wyłączenie wszelkich wyjść. Cechą szczególną poruszanego zabezpieczenia jest posiadanie aż 10 wejść binarnych, poza tym można podzielić je 5 różnych grup, które można skonfigurować pojedynczo jako wejścia pomiarów analogowych oraz wejścia binarne poprzez wykorzystanie oprogramowania OMICRON. Do omawianego badania wykorzystujemy wszystkie tory prądowe wraz z przewodami neutralnymi oraz dwa wyjścia binarne znajdujące się w urządzeniu testującym. [2]

Urządzenie testowe wymagające napięcia pomocniczego DC w zasilanie tym urządzeniu jest możliwe z wyjścia AUX DC, które można ustawić w zakresie od 0 do 264 V. Należy zwrócić szczególną uwagę podczas ustawiania tego parametru jako domyślne zasilanie, ponieważ podczas uruchomienia testera może dojść do zagrożenia życia przyszłego użytkownika. Spowodowane jest to tym, że urządzenie zapamiętuje i podczas jego uruchomienia podaje wartość ustawioną jako domyślną.

CMC 356 jest wyposażony w port USB oraz Ethernet, które umożliwiają komunikację urządzenia z komputerem, poza tym po odpowiedniej konfiguracji możliwe jest połączenie z wykorzystaniem sieci Wi-Fi. Sygnalizację stanu komunikacji ukazują nam diody LED, które podczas świecenia na zielono oznaczają prawidłowe połączenie, podczas gdy kolor żółty oznacza transmisję.

REALIZACJA PROJEKTU

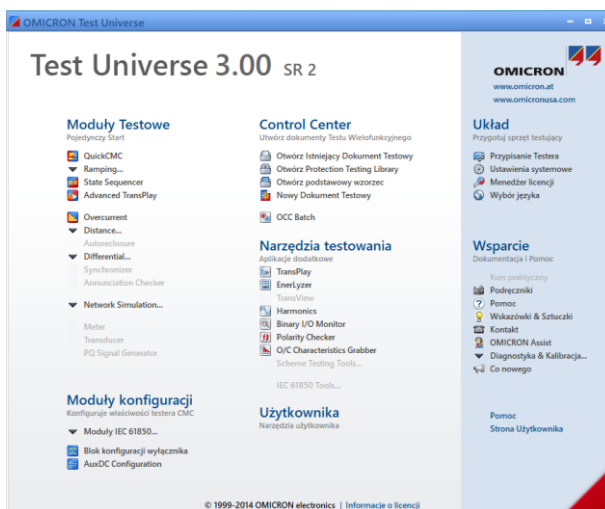
W pierwszej kolejności należałoby rozpocząć od konfiguracji przekaźnika zabezpieczającego MUPASZ 7.R2, który poprzez złącze RS-232 znajdujące się na płycie czołowej przekaźnika komunikuje się z komputerem. Wówczas należy uruchomić program Delfin. W pierwszej kolejności należy wejść w zakładkę Narzędzia następnie w opcję Operator i zalogować się na profil ADMIN, gdzie w przypadku omawianego przekaźnika hasło brzmi ADMIN. Po należyтым zalogowaniu możliwa jest prawidłowa komunikacja, natomiast w przypadku nie zalogowania się na poruszany wcześniej profil, niemożliwa jest zmiana nastaw w przekaźniku. Połączenie komputera z przekaźnikiem można uzyskać poprzez ponowne wejście w Narzędzia i kliknięcie w opcję Komunikacja, po czym powinien pojawić się odpowiedni komunikat. Następnym krokiem jest kliknięcie w zakładkę Autokonfiguracja.

Warto podkreślić, że po przeprowadzeniu wcześniejszych operacji w programie możliwe jest zrealizowanie doboru nastaw urządzenia. W pierwszej kolejności należy kursywą kliknąć w opcję Zasoby, po czym wybrać z paska zakładkę Nastawy. W następstwie ukaże się okno z nastawionymi parametrami, których zmiana jest możliwa poprzez dwukrotne kliknięcie na zmienianą wartość. Później należy w zakładce Nominały nastawić parametry dla pola transformatora. Po wprowadzeniu odpowiednich wartości możliwa jest przejście do nastawiania zabezpieczenia różnicowego, należy w tym momencie przejść do

zakładki Zwarcia. Skonfigurowane wartości parametrów należy wysłać do przekaźnika za pomocą czerwonej strzałki widniejącej w pasku narzędzi programu. Należy sądzić, że urządzenie zabezpieczające po przejściu opisanych kroków jest odpowiednio skonfigurowane na działanie zabezpieczenia różnicowego. [5]

Dalsza część rozdziału będzie poświęcona konfiguracji urządzenia CMC 356 za pomocą programu Test Universe 3.0, którego początkowe okno zilustrowane jest na Rys. 3. Oprogramowanie umożliwia tworzenie plików z dostosowanymi już parametrami wzorcowymi dla badanego zabezpieczenia. Należy wziąć pod uwagę to, że podczas pierwszych kontaktów z urządzeniem jest to naprawdę przydatna funkcja programu.

W trakcie badania zabezpieczenia różnicowego największa uwaga zostanie poświęcona jednemu z modułów testowych jakim jest Differential, który właśnie służy do badania omawianego zabezpieczenia.



Rys. 3. Główne okno programu do urządzenia CMC 356

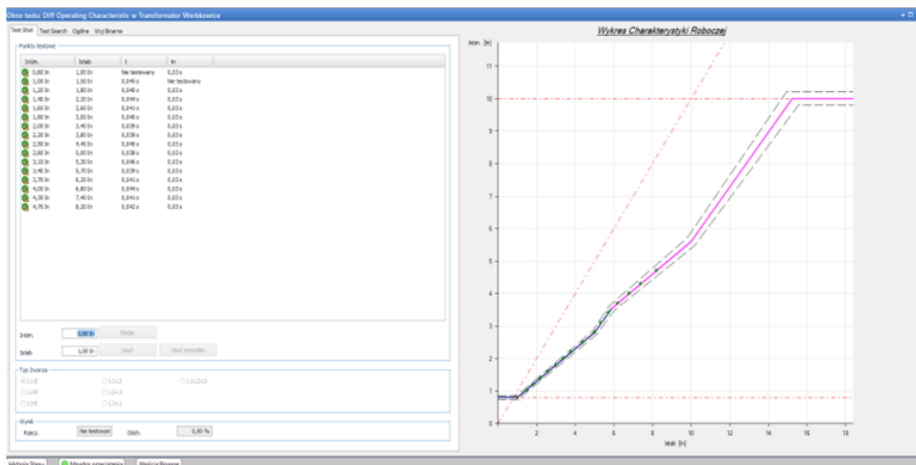
W panelu programu konfiguracji można ustawić w zakładce wyjścia analogowe jakie wejście prądowe lub napięciowe ma odpowiadać za wybrany zacisk. Z przedstawionych w rozdziale szóstym wiadomości na temat działania zabezpieczenia różnicowego, należy sądzić, że jeden z torów prądowych jest odpowiedzialny za prądy po stronie pierwotnej, zaś drugi za prądy po stronie wtórnej urządzenia chronionego. Podczas przeprowadzania badania nie są używane tory napięciowe. Przewód neutralny nie jest kalibrowany, zaś koniecznie należy go podłączyć do przekaźnika, ponieważ nie dostosowanie się do tej zasady może spowodować niebagatelną wzrost prądu przeciążeniowego, co wiąże się najprawdopodobniej z uszkodzeniem testera lub przekaźnika.

Ważną funkcją programu jest przyzwolecie na przypisanie wejść binarnych w zakładce Wejścia Binarne/Analogowe odpowiednie miejsca, w które ma trafić sygnał w przekaźniku. W przeprowadzanych badaniach wykorzystane zostaną styki bezpotencjałowe, zatem pobudzenie zostanie uruchomione beznapięciowo. W trakcie uruchomienia testu oprogramowanie samo ocenia wynik jako pozytywny lub negatywny. W przypadku, kiedy nie było wyników niewłaściwych można przejść do właściwego badania, które znajduje się w funkcji Diff Operating Characteristic.

Umożliwia zweryfikowanie nastaw oraz stwierdza działanie zabezpieczenia i wyznaczenie charakterystyki działania zabezpieczenia różnicowego. W pierwszej kolejności należałoby określić jaki typ badania można przeprowadzić, zatem wyróżnia się dwa Test Shot oraz Test Search. Różnią się tym, że jeden z nich sam odnajduje dokładny kształt charakterystyki, a w drugim należy określić punkty będące badane do wyznaczenia charakterystyki. W omawianym badaniu wykorzystano opcję Test Shot. W celu jak najdokładniejszej analizy charakterystyki wykorzystano szesnaście punktów pomiarowych, które zostaną przedstawione w następnym rozdziale.

ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W rozdziale tym zostaną przedstawione wyniki przeprowadzonych badań, opisanych w poprzednim rozdziale. W wyniku przeprowadzania wcześniej opisanych kroków została zbadana charakterystyka rozruchowa zabezpieczenia różnicowego stabilizacyjnego.



Rys. 4. Panel program Diff Operating Characteristic

Badania wskazują, że nastawy w przekaźniku MUPASZ 7.R2 zostały odpowiednio dobrane oraz można stwierdzić należyte działanie charakterystyki rozruchowej zabezpieczenia. Warto w tym miejscu zilustrować zachowanie

programu po przeprowadzanych badaniach, które znajdują się na Rys. 4. Po zakończeniu testu OMICRONEM możliwe jest wygenerowanie raportu dotyczącego przebiegu badania, który został przedstawiony poniżej. Szczegółowa analiza problemu wskazując na to że przełącznik działa prawidłowo i jest możliwa jego dalsza eksploatacja.

PODSUMOWANIE

Głównym problemem w niniejszym artykule było przedstawienie metody badań zabezpieczeń różnicowych, zrealizowanych po przez przełącznik cyfrowy MUPASZ 7.R2 oraz tester firmy OMICRON CMC 356.

Obiektem chronionym przez przełącznik jest transformator, przez co jest konieczne zapoznanie się z podstawowymi zakłóceniami w pracy omawianych urządzeń oraz metod przeciwdziałania niekorzystnym zjawiskom. W celu lepszego zrozumienia działania urządzeń uczestniczących w badaniu.

Analizując zebrane dane można stwierdzić, że badanie zabezpieczenia różnicowego w transformatorze wykazało prawidłowość działania. Ogólnie rzecz biorąc świadczy to o odpowiedniej konfiguracji przełączników oraz nastaw przełącznika zabezpieczającego, a także bezusterkowym zachowaniu przy wystąpieniu zjawisk takich jak namagnesowanie się rdzenia, które zawdzięcza się blokowaniu harmonicznych. Warto podkreślić, że wykreślona charakterystyka rozruchowa podczas badań zgadza się z teoretyczną. Nie ulega wątpliwości, że rutynowe kontrole zabezpieczeń w doskonały sposób wpływają na bezawaryjność pracy wszystkich urządzeń, dzięki mobilności testera OMICRON jest to możliwe bez kosztownego transportu obiektu badanego.

Z zebranego w toku badań materiału i dokonanych analiz, wynika, że badany przełącznik charakteryzują się doskonałą czułością, a także szerokim obszarem zastosowań. W przypadku testera oprogramowanie jest przejrzyste i czytelne nawet dla ludzi rozpoczynających dopiero pracę przy urządzeniu. Firma OMICRON wprowadzając testery CMC 356 rozszerzyła możliwości diagnostyczne urządzeń zabezpieczających. Możliwości badania różnorodnych zabezpieczeń powodują zwiększenie zainteresowania urządzeniem wykorzystanym podczas badania.

LITERATURA

- [1] Korniluk, W., Woliński, K., *Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa*, OWPB, Białystok, 2009
- [2] Dokumentacja techniczna OMICRON CMC 356, 2013 r.
- [3] Dokumentacja techniczna MUPASZ 7.R2, 2006
- [4] Woliński K., *Zabezpieczenia transformatorów*, Wiadomości Elektrotechniczne 2006, nr 6, 41–46
- [5] Jedynak D., *Wyznaczenie charakterystyk działania zabezpieczeń różnicowych wzdłużnych transformatorów oraz bloków generator – transformator*, Praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2019.

MODEL AUTOMATYKI BUDYNKOWEJ STEROWANEJ ZA POMOCĄ SMARTFONA

WSTĘP

W ostatnich latach rozwój automatyki budynkowej jest bardzo gwałtowny. Powstało wiele firm zajmujących się wyłącznie tą dziedziną. W ubiegłym wieku zastosowanie automatyki w budynku było czymś wyjątkowym i dostępnym tylko dla nielicznych. Obecnie jest to powszechne i stosowane nie tylko dla komfortu ale także dla bezpieczeństwa i ze względów ekonomicznych. Większość systemów automatyki budynkowej do komunikacji używa fal radiowych. Takie rozwiązanie jest korzystne ze względu na rezygnację z okablowania (zmniejszenie kosztów instalacyjnych) oraz zapewnienia elastyczności całej struktury. Systemy mające dostęp do Internetu umożliwiają sterowanie instalacjami w budynku z dowolnego miejsca na Ziemi [1].

W niniejszym artykule zaprezentowano projekt bezprzewodowej automatyki budynkowej, który obejmuje wykonanie modelu w oparciu o mikrokontroler ATmega, zaprogramowanie urządzenia oraz stworzenie aplikacji w systemie Android do sterowania modelem.

AUTOMATYKA BUDYNKOWA

Pierworys automatyki budynkowej pojawił się w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku w Stanach Zjednoczonych. Powstawały wtedy systemy zarządzania strukturami automatycznego sterowania w budynku. Budynki posiadające automatykę często są zwane „inteligentnymi budynkami”. Budynek inteligentny to budynek, który łączy różne systemy i zarządza zasobami skoordynowanie, by zapewnić użytkownikowi komfort i bezpieczeństwo przy najmniejszych możliwych kosztach eksploatacyjnych [2, 3].

SONOFF ITEAD

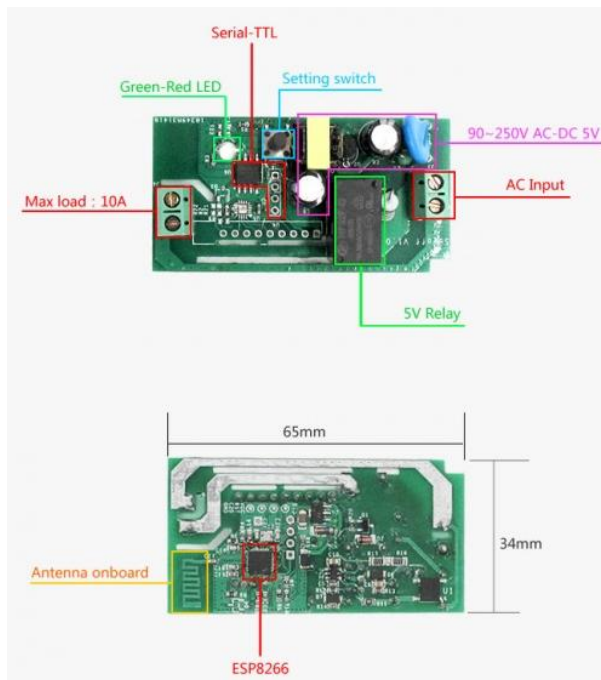
Na rynku dostępne są systemy, które oferują rozwiązania od najprostszych do bardzo złożonych. System Sonoff jest budżetową wersją automatyki budynkowej, produkowaną i rozwijaną w Chinach. Sterowanie urządzeniami domowymi odbywa się przez sieć Wi-Fi wykorzystując aplikację w systemie Android lub iOS. Do poprawnego działania systemu potrzebny jest dostęp do Internetu [5].

¹Politechnika Lubelska, WEiI, rafio33@gmail.com



Rys. 1. Wizualizacja komunikacji systemu [5]

Najprostszym rozwiązaniem oferowanym przez tą firmę jest urządzenie Sanoff Basic. Pełni funkcję bezprzewodowego przełącznika.



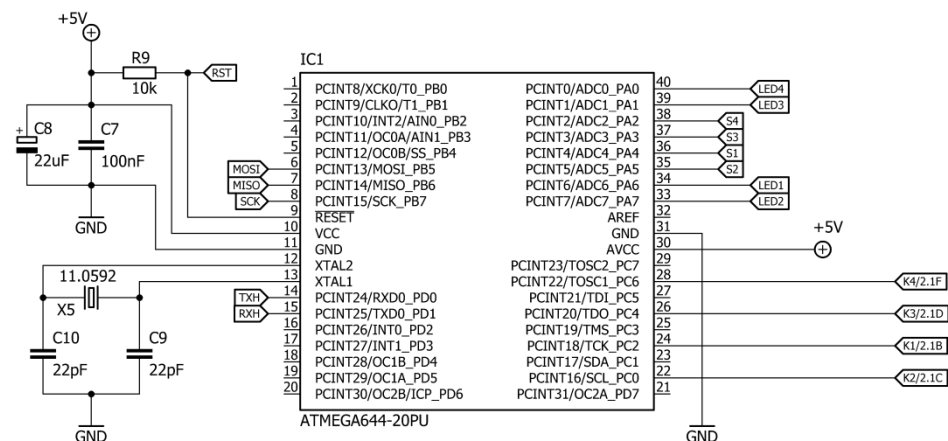
Rys. 2. Sanoff Basic – elementy tworzące urządzenie

Sanoff Basic umożliwia sterowanie szeroką gamą urządzeń. Użytkownicy mogą zdalnie sterować urządzeniami z dowolnego miejsca w dowolnym czasie, korzystając z telefonu komórkowego z dostępem do Internetu. Przydatną funkcją jest ustawienie harmonogramów czasowych dla urządzeń, które mogą obejmować odliczanie, zaplanowane włączanie/wyłączanie. Maksymalna moc podłączonych odbiorników nie może przekroczyć 2200 W [5].

BUDOWA MODELU

Celem projektu było wykonanie modułu z możliwością instalacji na szynie montażowej DIN, wyposażonego w 4 przekaźniki, umożliwiające zdalnie wykonywać czynności łączeniowe. Moduł do wykonywania operacji cyfrowych, został zaopatrzony w mikrokontroler ATmega644P. ATmega osiąga przepustowości zbliżone do miliona instrukcji na sekundę (1 MIPS) [4]. Komunikacja odbywa się bezprzewodowo na częstotliwości 2,4 GHz (Wi-Fi). Do tego celu został wykorzystany moduł Wifi ESP-01 ESP8266 firmy ESPRESSIF. Moduł konfigurowany jest za pośrednictwem aplikacji w systemie Android oraz panelu przycisków dostępnym na urządzeniu.

Prawidłowe zasilanie w układach z mikrokontrolerem jest bardzo ważne. Pojawienie się zakłóceń może powodować resetowanie mikroprocesora lub niepożądane działanie. Odpowiednie zasilanie zapewnił zasilacz impulsowy AC/DC 230V/9V oraz stabilizatory 5 V i 3,3 V z filtracją.

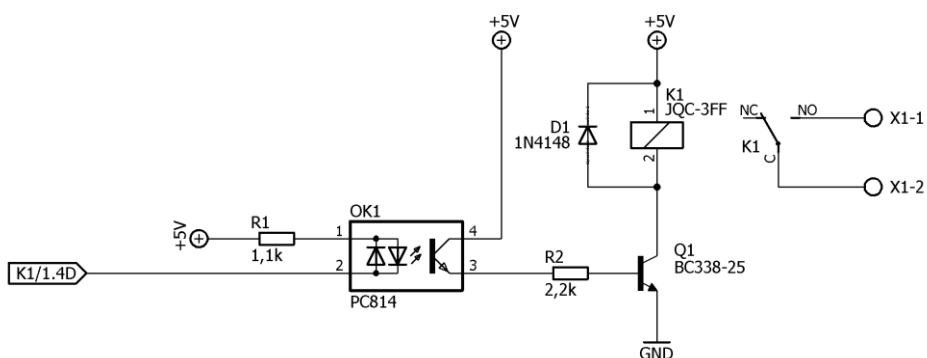


Rys. 3. Schemat podłączenia ATmega644P

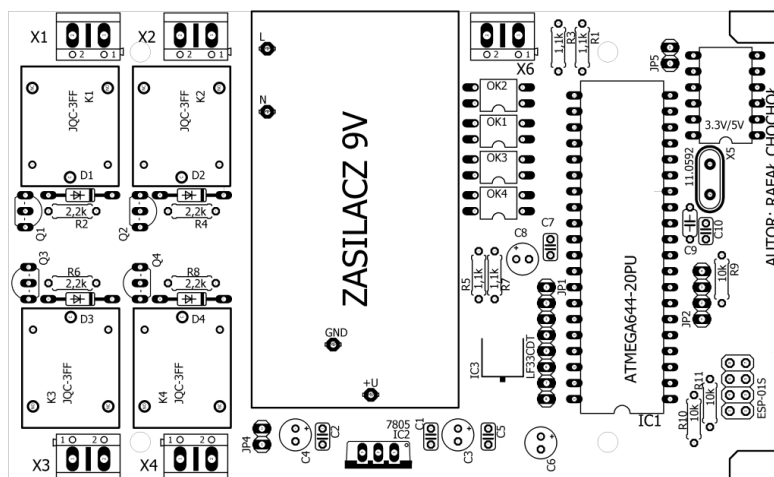
W projekcie zastosowano mikrokontroler ATmega644P-20PU w obudowie DIP, posiadający 40 wyprowadzeń, zasilany napięciem 5 V. Poprawną częstotliwość pracy mikrokontrolera zapewnia rezonator kwarcowy 11,0592 MHz. Wyprowadzenia MOSI, MISO oraz SCK służą do zaprogramowania układu scalonego. Pin RESET podłączony jest poprzez rezystor 10 kΩ do zasilania w celu uniknięcia niepożądanego resetowania mikrokontrolera. Dodatkowo pin ten, przyłączony jest do przycisku zwierzonego z masą, umożliwiając ręczne zresetowanie. Wyprowadzenia PD0 oraz PD1 służą do komunikacji z modułem Wifi poprzez UART (ang. *universal-asynchronous-receiver-transmitter*). W celu połączenia interfejsu UART mikrokontrolera o poziomie napięć 5 V z interfejsem modułu Wifi o poziomie napięć 3,3 V zastosowano konwerter poziomów logicznych. Część portu C została użyta do

obsługi przełączników, a cały port A został wykorzystany do sygnalizacji LED oraz obsługi przycisków (S1-4). Diody LED połączone są anodą do zasilania 5 V poprzez rezystor 360 Ω , a katodą do mikrokontrolera i załączane stanem niskim (LED1-4) [1].

Głównymi elementami wykonawczymi urządzenia są cztery zespoły przełączników z optoizolacją, które umożliwiają czynności łączeniowe. Każdy zespół składa się z transoptora, tranzystora, diody impulsowej, przełącznika z cewką 5 V oraz rezystorów ograniczających prąd. Dioda D1 została zastosowana w celu zabezpieczenia układu przed indukowanym przez cewkę wysokim napięciem podczas wyłączania przełącznika. Transoptor połączony jest z mikrokontrolerem i aktywowany stanem niskim.



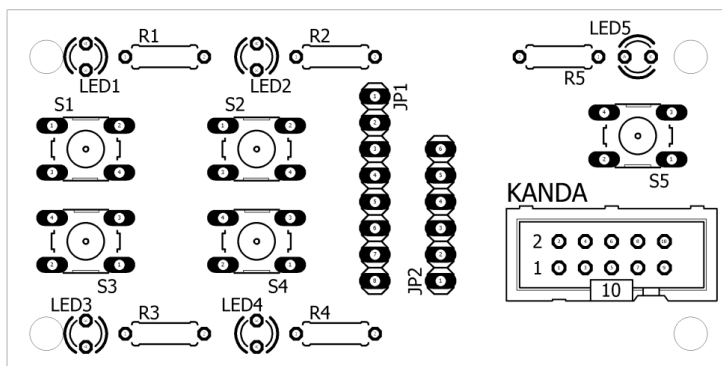
Rys. 4. Zespół przełącznika K1



Rys. 5. Projekt płytki głównej (rozmieszczenie elementów)

Rozmiar płytki obwodów drukowanych uzależniony jest od rozmiarów wybranej obudowy. Ze względu na dużą ilość elementów i ograniczonej przestrzeni, zaprojektowano dwie płytki drukowane dwustronne.

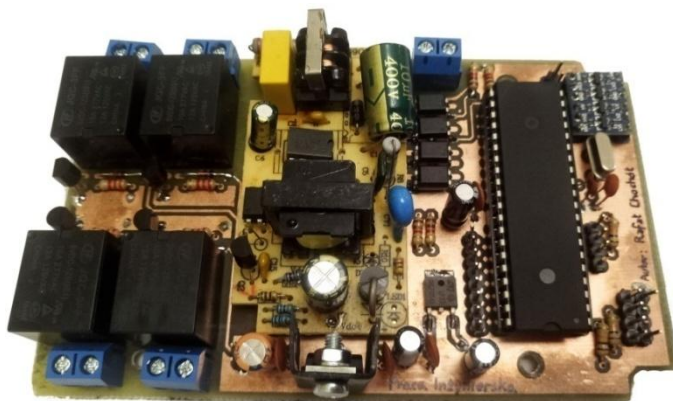
Na płycie górnej umieszczono diody LED, przyciski microswitch oraz gniazdo KANDA 10 PIN umożliwiające podłączenie programatora.



Rys. 6. Projekt płytki górnej (rozmieszczenie elementów)

Wokół stabilizatorów zapewniono wolną przestrzeń ze względu na znaczne wydzielanie ciepła. Kondensatory filtrujące zasilanie mikrokontrolera oraz rezonator kwarcowy ulokowano możliwie najbliżej wyprowadzeń układu scalonego.

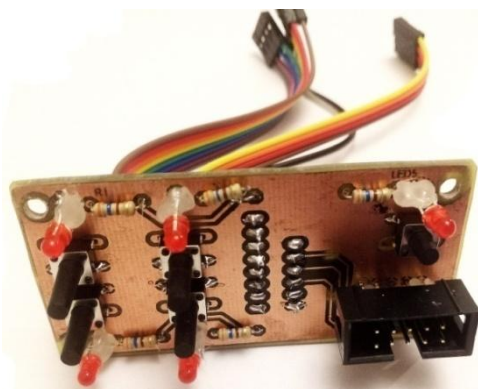
Elementy połączone ścieżkami o szerokości odpowiedniej do przewidywanego prądu roboczego. Najszersza ścieżka wynosi 86 mil (ok. 2,2 mm), najwęższa 16 mil (ok. 0,41 mm). Wolną przestrzeń pomiędzy ścieżkami i punktami lutowniczymi wypełnia obszar GND [1].



Rys. 7. Płytką główną z elementami

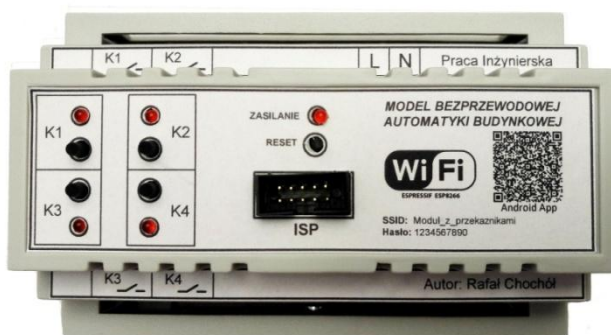
Płytki PCB zostały wykonane z płyty laminatu pokrytego obustronnie warstwą miedzi o grubości 35 μm . Na płytę o wymiarze określonych wymiarach, naniesiono tonerowy druk ścieżek, a następnie zanurzone w roztworze nadsiaczanu sodu w celu rozpuszczenia niezabezpieczonej powierzchni metalu. Gotowe płytki zabezpieczono dwoma warstwami lakieru chroniącego przed korozją i przylutowano elementy [1].

Mikrokontroler ATmega644 umieszczono na podstawie, pozwala to na łatwą wymianę tego elementu. Złącza KF301 (niebieskie) umożliwiają podłączenie zasilania oraz obwodów, w których mają być wykonywane czynności łączeniowe przez przekaźniki. Wyprowadzenia diod LED pokryto klejem termoplastycznym, który zabezpiecza elementy przed uszkodzeniami mechanicznymi mogącymi powstać przy montażu i demontażu płytki w obudowie (Rys. 8).



Rys. 8. Płytką górną z elementami

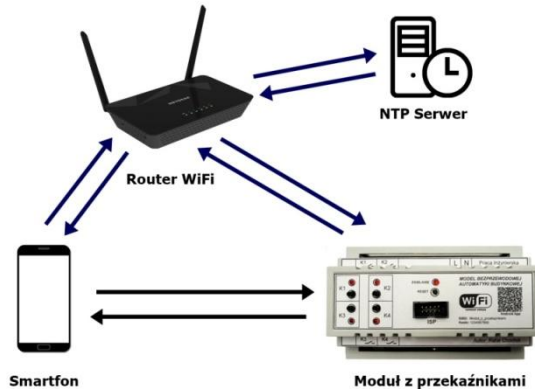
Wykonane płytki zamontowano w obudowie Z-104 przystosowanej do montażu na szynie DIN. Wykonany model oklejono naklejkami opisującymi elementy widoczne z przodu urządzenia.



Rys. 9. Model bezprzewodowej automatyki budynkowej

APLIKACJA W SYSTEMIE ANDROID

Stworzono specjalną aplikację w systemie Android do sterowania modelem. Komunikacja z modulem odbywa się bezprzewodowo poprzez router Wifi lub bezpośrednio z urządzeniem, korzystając z protokołu UDP. Dane wysyłane są na adres broadcast (255.255.255.255) przez port 32000. Z aplikacji w smartfonie z systemem Android wysyłane są do modelu datagramy z komendami AT. Model analizuje je i wykonuje odpowiednie czynności. Aplikacja również analizuje informacje przysyłane z urządzenia [1].

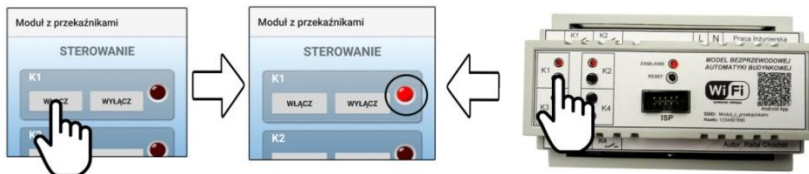


Rys. 10. Wizualizacja komunikacji [1]

Model zaprogramowano tak, aby wykonywał następujące czynności:

- zwiernianie/rozwiernianie styków przekaźników,
- czasowe zwiernianie styków,
- pobieranie aktualnego czasu z serwera NTP,
- zwiernianie/rozwiernianie styków o określonej godzinie,
- zapisywanie parametrów użytkownika do pamięci nieulotnej.

Na głównym panelu aplikacji dostępne są przyciski uruchamiające okna obsługi funkcji modelu, ustawień aplikacji i modelu oraz wyświetlany jest status połączenia. Wyświetlany jest aktualny stan przekaźników, odzwierciedlony sygnalizacją na module.



Rys. 11. Wizualizacja zmiany stanu przekaźnika [1]

TESTOWANIE MODELU

Model sprawdzono pod względem prawidłowego reagowania na komendy wysłane z aplikacji, sterowania z panelu dostępnego na urządzeniu, właściwej sygnalizacji. Urządzenie testowano w przestrzeni o dużym i małym zagęszczeniu nadajników Wifi. Wykonano pomiary poboru energii elektrycznej.

Pomiary prądu wykonano amperomierzem podłączonym szeregowo w przewód fazowy zasilania modułu. Podczas pomiarów zwiększano obciążenie (włączano kolejne przełączniki). Maksymalny prąd pobierany przez urządzenie ustalono w granicach 20 mA [1].

Tab. 1 Dane znamionowe modelu

Napięcie zasilania:	230 V AC 50Hz
Pobór prądu:	max. 20 mA
Wyjścia:	4 x 10 A
Wymiary:	90 x 67 x 139 mm
Waga:	256 g

PODSUMOWANIE

Zastosowanie bezprzewodowej automatyki w budynku jest rozwiązaniem elastycznym, zapewniającym komfort, bezpieczeństwo, a także oszczędności energetyczne. Na rynku dostępnych jest wiele firm oferujących swoje rozwiązania. Powoduje to spadek cen i zwiększenie zainteresowanie klientów o ograniczonym budżecie.

Wykonany model umożliwia bezprzewodowe sterowanie urządzeniami elektrycznymi. Konfiguracja urządzenia poprzez aplikację w systemie Android pozwala na wykonywanie przez moduł czynności łączeniowych o zaplanowanym harmonogramie. Aplikacja została zaprojektowana z łatwym i przejrzystym interfejsem. Obustronna komunikacja zapewnia stabilność przesyłu danych. Aplikację łatwo i szybko można pobrać skanując kod QR dostępny modelu. Wyklucza to konieczność dołączania do modelu nośnika danych z aplikacją. W miejscach zurbanizowanych o wysokim zagęszczeniu sieci Wifi moduł wykazuje sporadycznie chwilowe braki reakcji na komendy wysłane z aplikacji. W miejscach niezurbanizowanych nie zanotowano zakłóceń w komunikacji. Komunikacja z modułem nie jest szyfrowana, zmniejsza to bezpieczeństwo, ale umożliwia sterowanie modelem z poziomu odpowiednio skonfigurowanego terminala UDP. Do korzystania z pełnych możliwości urządzenia konieczne jest połączenie modelu z Internetem w celu aktualizacji godziny z serwera NTP.

LITERATURA

- [1] Chochół R., *Projekt i wykonanie bezprzewodowej automatyki budynkowej opartej o mikrokontroler ATmega*, Praca Inżynierska, Politechnika Lubelska, 2019
- [2] Majcher J., *Automatyka budynkowa: modny gadżet czy podstawowy element infrastruktury technicznej budynku*, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, 2016
- [3] Niezabitowska E. (ed.), *Budynek inteligentny: Potrzeby użytkownika, a standard budynku inteligentnego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014
- [4] *Nota aplikacyjna mikrokontrolera ATmega644*, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2593.pdf>, zasoby z dnia 15.06.2019 r.
- [5] SonoffItead, <https://www.itead.cc/wiki/Sonoff>, zasoby z dnia 15.06.2019 r.

ELEKTROENERGETYCZNE LINIE NAPOWIETRZNE

WSTĘP

Linie elektroenergetyczne napowietrzne służą do rozdziału oraz przesyłu energii elektrycznej w otwartym środowisku. Ich przewody mocowane są przy pomocy osprzętu do słupów i izolatorów.

Napowietrzne linie są podstawowym elementem składowym sieci elektrycznych dzięki którym energia elektryczna może być przesyłana na duże odległości. Są stosowane zarówno do prądu stałego jak i zmiennego. Ograniczenia linii do przesyłania prądu zmiennego są spowodowane stratami napięcia i mocy, przez które przesył na duże odległości jest nieefektywny ze względu na trudności z dotrzymaniem odpowiednich wartości parametrów energii elektrycznej. Obecne kable elektroenergetyczne nie są alternatywą dla przesyłu energii z prądem zmiennym na duże odległości ponieważ mają duże prądy pojemnościowe, upływ izolacji oraz wysokie koszty. Linie elektroenergetyczne w Polsce nie są aż tak długie co wynika z rozmiaru kraju, żeby zachodził istotny wpływ zjawisk które występują przy przesyłaniu energii elektrycznej na duże odległości. W większych krajach takich jak USA, Chiny, Rosja ma to jednak znaczenie i przyczyniło się to do zbudowania w jednym kraju wielu systemów elektroenergetycznych które są niezależne. Krajowy System elektroenergetyczny ma zagwarantować niczym nie zakłócony, bezpieczny przesył energii elektrycznej. Niestety nie ma możliwości magazynowania energii dlatego wytworzona moc w każdej chwili musi być równa zużyciu tej mocy.

BUDOWA

Linie napowietrzne składają się z izolatorów, przewodów, konstrukcji wsporczych oraz osprzętu. Żeby w przewodach linii które służą do przesyłania dużych mocy ograniczyć straty mocy czynnej stosowane są wyższe napięcia. Przy zastosowaniu przewodów nieizolowanych gołych, izolacją jest powietrze. Ogranicza to wysokość napięcia przez zjawiska które zachodzą w dielektrykach gazowych.

Ze względu na funkcje linie elektroenergetyczne dzielimy na linie rozdzielcze i przesyłowe. Możemy je również podzielić ze względu na poziom napięcia. W krajowym systemie elektroenergetycznym podstawowymi napięciami są:

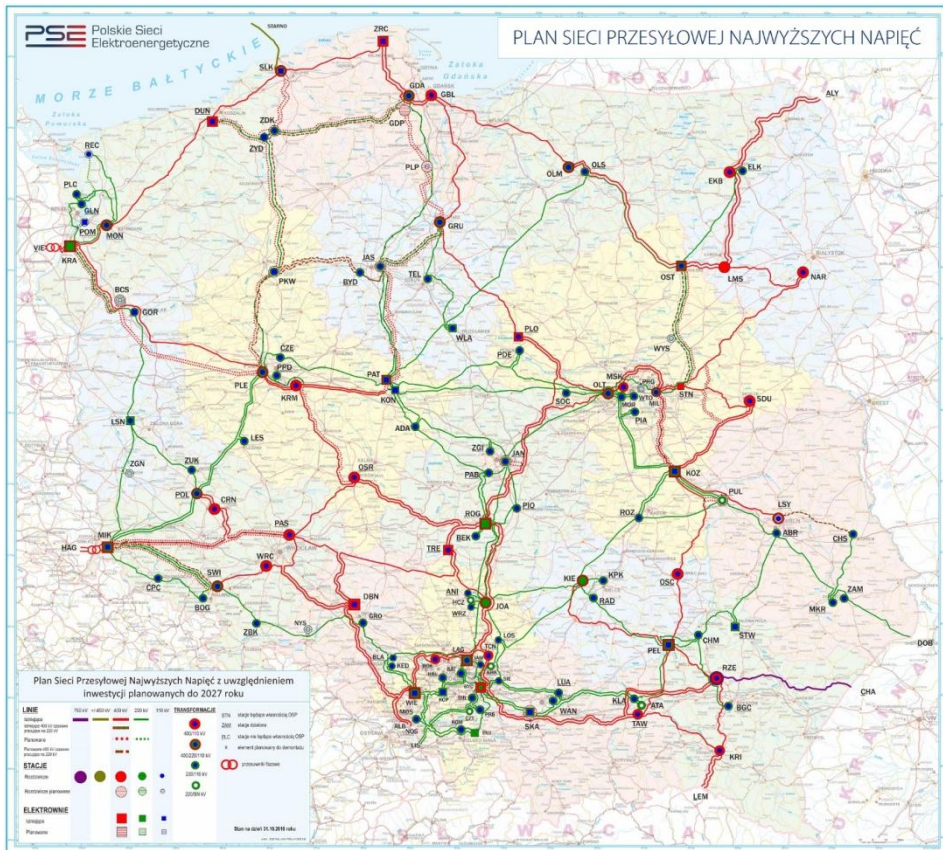
¹Politechnika Lubelska, WEiI, burykamil@hotmail.com

- 400, 220 kV – najwyższe napięcia (NN) – przesył mocy wyprodukowanej,
- w elektrowniach,
- 110 kV – napięcia wysokie (WN) – przesyłowo-rozdzielcze,
- 1 – 60 kV – napięcia średnie (SN) – rozdział energii elektrycznej,
- poniżej 1 kV – napięcia niskie (nn) – odbiorcze.

Linie napowietrzne mają za zadanie przesyłać energię elektryczną z elektrowni do sieci rozdzielczych które zasilają niedaleko położone miasta. W krajowym systemie elektroenergetycznym pracuje 258 linii o łącznej długości 14 195 km w tym:

- 1 linia o napięciu 750 kV o długości 114 km (nieczynna),
- 93 linie o napięciu 400 kV o łącznej długości 6 326 km,
- 164 linie o napięciu 220kV o łącznej długości 7755 km [4].

Na rysunku 1 przedstawiono mapę sieci PSE który składa się z linii 750 kV, 400 kV, 220 kV oraz 110 kV.



Rys. 1. Plan sieci przesyłowej [4]

Wymaganie niezawodności trzeba spełnić podczas projektowania zakładając występowanie określonych zjawisk atmosferycznych w danym obszarze. Wymaganie pewności wymusza takie projektowanie, aby w przypadku awarii która jest niemożliwa do przewidzenia jak najbardziej ograniczyć obszar danej awarii. Dlatego np. wstawia się słupy odporowe w danych odstępach, aby zapobiec lawinowemu niszczeniu słupów przelotowych.

Wymagania bezpieczeństwa mają na celu chronić ludzi którzy podczas budowy jak i utrzymania linii mogą się znaleźć pod przewodami. Konstrukcje wsporcze muszą być tak zaprojektowane ,aby wytrzymały obciążenia zdefiniowane w normie. Dodatkowe okoliczności, które są brane pod uwagę przy projektowaniu linii elektroenergetycznych, to warunki środowiskowe, atmosferyczne oraz wymagania podane w krajowych normach NNA [2]. Dlatego są określone poziomy niezawodności pracy które przedstawia poniższa tabela.

Tabela 1. Poziom niezawodności linii napowietrznych [2]

Poziom niezawodności	Okres powrotu T oddziaływań klimatycznych
1	50 lat
2	150 lat
3	500 lat

PRZEWODY

Przewody typu HTLS charakteryzują się małymi zwisami dzięki zastosowaniu rdzeni nośnych niskorozszerzalnych cieplnie. Pracują w podwyższonych temperaturach 150–230°C. Dzięki temu możliwe jest zwiększenie obciążalności prądowej linii, a za tym idzie wzrost przesyłanej mocy. Mają również nieliniową charakterystykę zwisu, która zależy od temperatury. Po przekroczeniu określonej wartości temperaturowej wzrost zwisu przewodu jest znacznie mniejszy niż w przewodach pracujących w niższych temperaturach. Dzięki zastosowaniu przewodów HTLS przy zwiększaniu obciążalności nie jest wymagane podwyższanie słupów modernizowanej linii elektroenergetycznej żeby zapobiec zbliżaniu się przewodów do ziemi lub innych obiektów. Stosuje się je przy modernizacji istniejących już linii, które wymagają znacznego zwiększenia zdolności przesyłowych. Stała praca linii przy dużym obciążeniu prądowym i wysokiej temperaturze przewodów powoduje duże straty przesyłowe. W takich przypadkach zalecana jest modernizacja linii poprzez zastosowanie przewodów o większych przekrojach. Do przewodów HTLS zaliczane są:

TACSR – w miejsce zwykłego aluminium wprowadzane jest aluminium odporne termicznie ze stalowym rdzeniem. Umożliwia zwiększenie temperatury przewodów dla AT2 do 150°C, AT3 210°C, AT4 230°C.

TACIR – zamiast drutów stalowych stosowane są druty z rdzeniem z inwaru. Jest to stop żelaza z niklem. Takie przewody mają mniejszy współczynnik rozszerzalności cieplnej niż TACSR.

GTACSR – pomiędzy rdzeniem a, warstwą aluminium jest szczelina. Wypełniona jest specjalnym smarem, który zmniejsza tarcie między rdzeniem i aluminium. Dzięki konstrukcji punkt kolanowy występuje w temperaturze montażu przez co jest zmniejszony przyrost zwisu spowodowany wzrostem temperatury pracy.

ACSS – druty aluminiowe zostały zamienione na druty z wyżarzonego aluminium co zwiększyło temperaturę pracy do 240°C.

ACCC – stosuje się w nich wyżarzone druty profilowane aluminiowe o czystości 99,7% oraz rdzeń kompozytowy składający się z włókien węglowych, które są otoczone włóknami szklanymi przez co posiada bardzo niski współczynnik wydłużenia cieplnego. Rdzeń jest lżejszy i ma większą wytrzymałość niż stalowy. Zastosowanie tego typu przewodów pozwala na zmniejszenie strat przesyłowych dzięki zwiększonemu przekrojowi aluminium z zachowaniem takiej samej średnicy przewodu. Są najbardziej wytrzymałe na zerwanie i posiadają najmniejszą rezystancję.

ACFR – rdzeń z włókien węglowych. Posiadają niewielką masę, mały współczynnik rozszerzalności cieplnej, dużą wytrzymałość mechaniczną.

TAAAC – wykonane w całości ze stopu aluminium, pracują do 150°C. Posiadają duży współczynnik rozszerzalności cieplnej i duży wzrost zwisu w porównaniu z innymi przewodami HTLS.

Tabela 1. Poziom niezawodności linii napowietrznych [2]

Lp.	Parametry techniczne	Jednostka	Wymagana wartość
1	Liczba drutów stalowych	szt.	7
2	Średnica znamionowa drutów stalowych	mm	2,9
3	Średnica obliczeniowa rdzenia stalowego	mm	8,7
4	Przekrój obliczeniowy rdzenia stalowego	mm ²	46,24
5	Liczba drutów aluminiowych	szt.	54
6	Średnica znamionowa drutów aluminiowych	mm	2,9
7	Przekrój obliczeniowy części aluminiowej	mm ²	356,7
8	Średnica obliczeniowa całego przewodu	mm	26,1
9	Przekrój obliczeniowy całego przewodu	mm ²	402,9
10	Stosunek przekroju obliczeniowego aluminium do przekroju obliczeniowego rdzenia	-	7,71
11	Obliczeniowa siła zrywająca przewód	kN	>113

12	Rezystancja obliczeniowa 1 km przewodu w temperaturze 20°C	Ω/km	<0,0821
13	Masa obliczeniowa rdzenia	kg/km	370
14	Masa obliczeniowa części aluminiowej	kg/km	982
15	Masa obliczeniowa całego przewodu [bez smaru]	kg/km	1352

SŁUPY

Ostatnimi czasy słupy kratowe stosowane w liniach o napięciach 110, 220 i 400 kV zostają wypierane przez słupy rurowe. Jako układ statyczny wykorzystują element o przekroju koła. Dzięki temu zajmują mniejszą powierzchnię niż słupy kratowe, wyglądają estetyczniej oraz dzięki swojemu przekrojowi są bardziej wytrzymałe. Słupy rurowe są konstrukcjami stalowymi pełnościenne, stożkowymi, które mają przekrój okrągły albo częściej przekrój wieloboku. Są projektowane indywidualnie dla określonych zadań. Projektanci przyjmują jeden typ słupa dla zbioru przęseł. Dzięki temu ograniczają liczbę typów konstrukcji. Projektanci linii mają za zadanie ustalić wymiary słupa, skoordynować obciążenia oraz izolację, które wynikają z wymagań norm i warunków. Dzięki tym danym są określone wymiary słupa i siły reakcji na fundament. [3]

Odległość między poprzecznikami, ich wysięg oraz usytuowanie na słupie są dostosowywane do użytej izolacji, ustalonego przęsła, naprężeń oraz rodzaju przewodów roboczych i przewodu odgromowego. Dobierając odpowiednią grubość blachy, zbieżność, jest projektowana konstrukcja o wymaganej wytrzymałości dla występującego obciążenia słupa. Słup jest przymocowywany do fundamentu za pomocą kołnierza do śrub, który jest elementem fundamentu. Dla każdego słupa i gruntu w jego okolicach jest indywidualnie projektowany fundament. Najbardziej wyróżniającymi się cechami konstrukcji rurowych są: wybór miejsca mocowania wszystkich elementów konstrukcyjnych, poprzeczników – mogą być mocowane na różnych wysokościach oraz w różnych płaszczyznach, dowolne konfigurowanie sylwetki słupa. Dzięki temu że podstawa słupa ma małe rozmiary co tym samym przekłada się na mały rozmiar części nadziemnej fundamentu, stanowiska słupa mogą być umieszczane w pobliżach pasów drogowych, na granicach działek oraz przy innych obiektach. Transport słupów rurowych jest dosyć łatwy ponieważ nie wymaga żadnego specjalnego sprzętu. Elementy słupa są w jednym opakowaniu. Osobno pakuje się poprzeczniki oraz elementy dodatkowe. Na miejscu gdzie słup ma być montowany następuje jego połączenie. Poszczególne elementy mocowane są przy pomocy urządzeń hydraulicznych. Dzięki zbieżności słupa człony są właściwie umiejscowione i zespolone. Kiedy słup jeszcze leży montowane są wszystkie elementy, poprzeczniki oraz izolacja dzięki czemu jest

zmniejszony zakres prac kiedy słup już stoi. Do postawienia słupa używa się dwóch dźwigów. Cały montaż słupa ze skręceniem i postawieniem zajmuje około 2 godziny i 20 minut dla 6-osobowego zespołu. Cały montaż słupa kratowego razem z postawieniem 8 osobom zajmuje około 8 godzin. Widać tutaj że montaż słupów rurowych jest znacznie prostszy i szybszy.

W porównaniu ze słupami kratowymi dla słupa przelotowego nakład pracy wynosi tylko około 21%, a dla słupa mocnego zaledwie 16%. Dzięki swojej specyfikacji konstrukcji na słup rurowy nie wejdzie osoba przypadkowa w celu np. kradzieży elementów. Głównymi zaletami montowania linii najwyższych napięć na słupach rurowych są:

- estetyka, wyglądają dużo lepiej niż słupy kratowe, łatwiej jest je pomalować,
- jeden blok fundamentowy, w liniach kratowych są cztery,
- zajmują mniejszą powierzchnię, mniej niż 5% powierzchni słupa kratowego,
- objętość wykopu 30% w porównaniu z kratowymi,
- dużo krótszy czas montażu,
- łatwy transport,
- gwarantowane 50 lat czasu pracy,
- mniejszy ograniczony obszar użytkowania pod linią,
- ograniczona możliwość kradzieży elementów słupa
- brak możliwości wejścia na słup.

Słupy rurowe są użytkowane dosyć krótko dlatego na razie ciężko jest porównać koszty eksploatacji ze słupami kratowymi. Jedynie na podstawie parametrów na razie można oszacować, że koszty będą dużo niższe ponieważ będą niższe koszty:

- zabiegów antykorozyjnych ze względu na mniejszą powierzchnię słupa,
- remontów fundamentów również ze względu na mniejszą powierzchnię,
- usuwania uszkodzeń wynikających z kradzieży i wandalizmu.

W tabeli 2. jest przedstawione porównanie parametrów linii kratowej i pełnościennej o parametrach 220 kV, dwutorowa, przewody robocze AFL-8 525 mm², naprężenie 73,6 MPa, rurowe 75 Mpa, przewody odgromowe AFL-1,7 70 mm², rurowe AFL-1,7 95mm², naprężenie 147,2 MPa, rurowe 145 MPa. [1]

Tabela 2. Poziom niezawodności linii napowietrznych [2]

Parametr	konstrukcja wsporcza	
	kratowa	pełnościenna
wysokość	42,6 m	39,1 m
powierzchnia podstawy	29,14 m ²	1,37 m ²
powierzchnia do malowania	380 m ²	105 m ²
masa	8,9 t	7,4 t
obszar ograniczonego użytkowania pod linią	52 m	46 m

Dzięki słupom rurowym jest dużo większa szansa na zrealizowanie inwestycji. Często są problemy z uzyskaniem praw do terenu, sprzeciwu ludności. Ich największym atutem jest dużo mniejsza powierzchnia zajętego terenu. Może to pomóc w negocjacjach z właścicielem terenu. Jeżeli słupy rurowe rozpowszechnią się ich cena może dzięki temu się zmniejszyć.

PODSUMOWANIE

Linie napowietrzne są ciągle narażone na uszkodzenia związane z czynnikami zewnętrznymi dlatego tak ważna jest ich odpowiednia eksploatacja. Muszą podlegać okresowym przeglądom wykonywanym przez wykwalifikowane osoby. Części linii po zakończeniu swojego czasu eksploatacji muszą podlegać wymianie dla właściwego przesyłu energii. Ich budowa ma bardzo duże znaczenie. Coraz to nowe technologie pozwalają ograniczyć zarówno czas jak i koszty budowy. Przykładem są coraz częściej używane słupy rurowe. Ich prostota oraz czas montażu znacząco są znacząco szybsze niż słupów kratowych. Zajmują dużo mniejszą powierzchnię dzięki czemu nie zaburzają aż tak krajobrazu co ma wpływ na łatwiejsze kupno gruntów pod linie. Zmniejszają się również koszty remontów linii ponieważ kosztowny czas wyłączenia dzięki słupom pełnościennym ulega znacznemu skróceniu.

Zużycie energii w Polsce wzrasta z roku na rok. Według Ministerstwa Gospodarki ma ono wzrosnąć o 150% w przeciągu 30 lat. Wyjściem może być budowa nowych linii albo modernizacja istniejących. Duży wpływ ma przekrój przewodu oraz rozpiętość przęsła. Dzięki zwiększeniu przekroju przewodu oraz zmniejszeniu długości przęsła można znacznie zmniejszyć zwis przewodu co za tym idzie można zwiększać obciążenie linii bez zagrożenia zbliżenia się przewodu do obiektów pod linią.

LITERATURA

- [1] Grabowski Z., *Napowietrzne Linie Elektroenergetyczne. Budowa i Eksploatacja*. Warszawa, 1955
- [2] Hudym V., Jagiełło A., *Zasady Projektowania i Eksploatacji Elektroenergetycznych Linii Napowietrznych*. Politechnika Krakowska, 2016
- [3] PN-80/B-03322, *Elektroenergetyczne linie napowietrzne – Fundamenty konstrukcji wsporczych – Obliczenia statyczne i projektowe*
- [4] www.pse.pl, zasoby z dnia 07.06.2019 r.

PERSPEKTYWICZNE SPOSOBY MAGAZYNOWANIA ENERGII W POJAZDACH ELEKTRYCZNYCH

WSTĘP

Przyszłość motoryzacji dotyczy każdego z nas ze względu na liczbę aut oraz konieczności posługiwania się nimi na co dzień jak i ze względu na to jak wpływają na nasz klimat i bezpośrednio na jakość powietrza. Samochody elektryczne w coraz większej mierze zastępują te z napędem tłokowym. W niedalekiej przyszłości pojazdy będą dostępne zupełnie elektryczne co już zaczyna być wdrażane a wśród producentów to właśnie technologia w pojazdach elektrycznych zaczyna być głównym elementem rywalizacji na rynku.

Silnik elektryczny w pojazdach potrzebuje energii elektrycznej która musi być dostarczana w różnych momentach, płynnie, odpowiednio szybko, długo, w trudnych warunkach atmosferycznych, musi sprostać zapotrzebowaniom na nią w danej chwili. Takie właściwości musi zapewniać źródło z którego energia ta będzie pozyskiwana. Zasobnik w takim pojeździe, aby sprostać wymaganiom w dostarczaniu energii elektrycznej do silnika musi charakteryzować się:

- wysoką gęstością energii [Wh/l] lub [Wh/kg], która odpowiada za ilość i zdolność zgromadzonej energii,
- wysoką gęstością mocy [W/kg] lub [W/l] która określa szybkość oddawania i gromadzenia energii,
- krótkim czasem reakcji [s] który odpowiada za szybkość reakcji oddania energii,
- długą żywotnością która określa czas użyteczności zasobnika,
- niskimi kosztami związanymi z budową oraz przyjaznym dla środowiska procesem produkcji,
- długim czasem samo-rozładowania który określa długość przechowywania zgromadzonej energii w stanie spoczynku [1].

W niniejszym artykule zostaną przedstawione sposoby magazynowania energii które pod względem technicznym pozwalają na połączenie wszystkich najważniejszych parametrów.

OGNIWA ELEKTROCHEMICZNE

Na rynku jest wiele znanych rodzajów ogniw elektrochemicznych, które można wykorzystać do magazynowania energii w pojazdach elektrycznych.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, maciej.bujnik@pollub.edu.pl

Najbardziej znanym, powszechnie stosowanym i najbardziej obiecującym rodzajem ogniwo elektrochemicznych są akumulatory litowo-jonowe, które w porównaniu z tradycyjnym akumulatorami kwasowo-ołowiowymi wykazują lepsze właściwości. Akumulatory z ogniwami litowo-jonowymi wykazują się dużo wyższą energią właściwą. Pojedyncze ogniwo litowo-jonowe ma napięcie 3,6 V. Katoda zbudowana jest ze związków litu, anoda z węgla. Pomiedzy katodą a anodą znajduje się elektrolit, który umożliwia przemieszczanie się dodatnich jonów litu i jednocześnie odseparowuje elektrody [4].

Akumulatory kwasowo-ołowiowe są oparte na ogniwach galwanicznych w których katoda zbudowana jest z tlenku ołowiu, a anoda z ołowiu. Elektrolit po między elektrodami jest wykonany z 37% roztworu wodnego kwasu siarkowego. Akumulator ten jest zbudowany z 6 ogniwo połączonych szeregowo. Pojedyncze ogniwo ma napięcie 2,1 V. Konstrukcja ta jest odporna na zmienne warunki atmosferyczne, dużą ilość cykli ładowania oraz rozładowania. Prąd rozładowania tego akumulatora może być bardzo duży, sięgający nawet do 15-krotnej wartości jego pojemności w czasie do 5 sekund. Cechy te pozwalają na to, że taki akumulator najczęściej stosuje się do zasilania rozrusznika lub jako źródło mocy zapasowej [3].

Akumulatory wodorkowo-niklowe składają się z płytki niklowej stanowiącą katodę i anody która jest zbudowana ze stopu ziem rzadkich (manganu, niklu, aluminium, magnezu i kobaltu – od zawartości ich zależą właściwości akumulatora). Akumulatory te nie zawierają metali ciężkich, zanieczyszczających otoczenie i dlatego są korzystniejsze dla środowiska od pozostałych. Stosunek ciężaru do pojemności jest zaletą jak również gęstość energii. Obsługa tak jak ładowanie wymaga precyzyjnej kontroli jak również rygorystycznie przestrzegana powinna być temperatura pracy. Porównując podstawowe parametry głównych ogniwo elektrochemicznych stosowanych w elektromobilności, widzimy dlaczego ogniwa litowo-jonowe są przodowymi magazynami energii w układach napędowych pojazdów elektrycznych [3].

Tabela 1. Podstawowe parametry wybranych rodzajów akumulatorów

Rodzaj	Gęstość energii [Wh/kg]	Optymalny i chwilowy prąd rozładowania	Samorozładowanie [%/miesiąc]
Kwasowo-ołowiowe	25–40	0,2/5C	5
Wodorkowo-niklowe	55–70	0,5/5C	30
Litowo-jonowe	115–150	1C/60C	3

Rodzinę akumulatorów litowo-jonowych stanowią poszczególne rodzaje, które to różnią się budową katody lub anody ale mają też wiele podobieństw.

Akumulatory LTO (Lithium Titanate) posiadają anodę zbudowaną z tlenku tytanu ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Akumulatory te wyróżnia to, że mogą pracować w niskich temperaturach, osiągających nawet -47°C . Przy temperaturze -30°C posiadają

nawet 80% swojej pojemności. Pojemność takich akumulatorów wynosi około 90 Wh/kg i 250 Wh/dm³. Wartość prądu ładowania może wynosić do 30C (30-krotnie większa wartość od pojemności). Przeprowadzone testy pokazują, że po 7000 cyklach pełnego ładowania i rozładowania pojemność tych akumulatorów zmalała o 19%. Samorozładowanie podczas gdy akumulator nie jest używany występuje w niewielkim stopniu. Za wadę akumulatorów LTO można uznać niskie napięcie jakie jest na jednym ogniwie, jest to ok 2,4 V [8].

W akumulatorach LFP (Lithium Ferrophosphate) katoda zbudowana jest ze związku żelaza, litu, fosforu i tlenu (LiFePO₄). Napięcie na pojedynczym ogniwie wynosi 3,2 V. Są odporne na niepełne rozładowania, jednak nie, można ich rozładowywać poniżej 2,4 V i naładować powyżej 4,2 V, ponieważ grozi to trwałym uszkodzeniem ogniwa. Spadek pojemności do 80% następuje po 2000 – 2500 pełnych cyklach naładowania i rozładowania. Temperatura ich pracy mieści się w przedziale od 0°C do 60°C. Gęstość energii wynosi ok. 120 Wh/kg.

Akumulatory NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) posiadają katodę zbudowaną w 10–20% z kobaltu (LiNiMnCoO₂). W budowie tych akumulatorów występuje nikiel. Napięcie ich pracy mieści się w granicach 2,7 V do 4,1 V. Gęstość energii wynosi 250–270 Wh/kg. Mogą pracować w temperaturze od -20°C do 55°C lecz podczas przegrzania występuje duże niebezpieczeństwo. 80% pojemności osiągają już po około 1000 cyklach pełnego naładowania i rozładowania a więc bardzo szybko [8].

W akumulatorach LMO (Lithium Manganese Spinel) katoda jest zbudowana z tlenku manganu w połączeniu z litem (LiMn₂O₄). Mogą magazynować do 240 Wh/kg i są bezpieczniejsze w przypadku przegrzania od akumulatorów NMC. Spadek pojemności do 80% uzyskują po około 1800 cyklach pełnego naładowania i rozładowania [8].

Akumulatory NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide) (LiNiCoAlO₂) cechują się podobieństwem do akumulatorów NMC. Znamionowe napięcie pojedynczego ogniwa to 3,6 V a optymalny zakres pracy ogniwa to 3–4,2 V. Gęstość energii wynosi od 200 do 260 Wh/kg. Wysoka gęstość energii i moc, i dobra trwałość sprawiają, że akumulatory NCA są często wykorzystywane w pojazdach elektrycznych jako magazyn energii. Wadą są wysokie koszty związane z budową oraz mniejsze bezpieczeństwo [13].

Producenci akumulatorów służących do układów napędowych stosują różne rodzaje konstrukcji elektrod. Najczęściej są to akumulatory LMO i NCA, które i tak są przez konkretnych producentów dopracowywane i udoskonalane. Do produkcji akumulatorów litowo-jonowych najczęściej wykorzystuje się lit, nikiel i kobalt. Lit ciężki jest do wydobycia, występuje w miejscach pustynnych, a do procesu jego wydobycia potrzeba dużo wody. Wydobycie niklu wiąże się z emisją trującego dwutlenku siarki i odpadami z rakotwórczym pyłem. Wyprodukowanie baterii o pojemności 1 kWh wiąże się z emisją od 150 do 200 kg dwutlenku węgla.

OGNIWA PALIWOWE

Rozwój technologii ogniw paliwowych stanowi bardzo obiecującą wizję dla pojazdów elektrycznych. Ogniwa paliwowe działają podobnie jak akumulatory, które są źródłem prądu stałego. Różnica polega na tym, że ogniwo nie jest ładowane i rozładowywane lecz potrzebuje do wytworzenia energii elektrycznej paliwa. Ogniwa paliwowe są urządzeniami które generują energię elektryczną przy której wytwarzaniu produktami ubocznymi są związki (najczęściej woda) nie zawierające substancji szkodliwych dla środowiska. W pojazdach wykorzystuje się głównie ogniwa paliwowe typu PEM (ang. Proton Exchange Membrane lub Polimer Electrolyte Membrane). Głównymi różnicami w rodzajach ogniw paliwowych są temperatura pracy oraz rodzaj elektrolitu. Aby zwiększyć udział ogniw paliwowych w pojazdach elektrycznych, należy sprostać wymogom emisji oraz wykazać mniejsze koszty produkcji paliwa do ogniw paliwowych (najczęściej wodoru). Wodór najefektywniej uzyskuje się poprzez elektrolizę wody z której pozyskiwany jest tlen i wodór (w bardzo czystej postaci 99,9%) [2].

Wszystkie ogniwa mają swoje wady i zalety, określają one pole zastosowań dla każdego typu ogniw.

Ogniwa typu PEM jako paliwo wykorzystują wodór. Charakteryzują się dużą sprawnością w wytwarzaniu energii elektrycznej do 65% oraz małą ilością wydzielanego ciepła. Zaletą ogniwa PEM jest krótki czas rozruchu i szybkie dostosowywanie się do zmiennego obciążenia.

Ogniwa typu AFC są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenia i wymagają bardzo czystego paliwa.

Ogniwa typu DMFC podobnie jak ogniwa PEM posiadają membranę polimerową. Anoda w tym ogniwie jest tak zbudowana, że może zachodzić w nim proces reformingu metanolu z którego uzyskuje się wodór do zasilania ogniwa, dzięki czemu nie wymaga, to używania zbiorników na gromadzenie paliwa. Zaletą jest możliwość stosowania ich w urządzeniach przenośnych, wadą natomiast sprawność na poziomie 40%.

Ogniwa typu PAFC nadają się do systemów kogeneracji energii elektrycznej i ciepła. Ogniwa te generują parę która może być zamieniana na ciepło. Zaletą tego rodzaju ogniw jest wysoka tolerancja na tlenek węgla, dzięki czemu można stosować różne paliwa ale muszą być one odsiarczone.

Ogniwa typu MCFC wykorzystywane są jako elektrownie małej i średniej mocy. Jako paliwa można stosować, benzynę, gaz ziemny, wodór lub propan.

Ogniwa typu SOFC pracują w dużych temperaturach. Wadą ich jest czas rozruchu i czas wyłączenia. Zaletą jest wysoka odporność na zanieczyszczenia paliwa co pozwala na stosowanie wielu rodzajów paliw [6].

Najpopularniejszym paliwem w ogniwach paliwowych w pojazdach elektrycznych jest wodór. W warunkach atmosferycznych jest gazem przez co wymaga magazynowania w zbiornikach pod ciśnieniem lub jako ciecz

kriogeniczna. Wodór posiada bardzo silne wiązania międzycząsteczkowe co powoduje, że w normalnych warunkach jest mało reaktywny. Z roku na rok produkcja wodoru stale wzrasta co jest spowodowane popytem na ten surowiec poprzez alternatywy dla paliw ropopochodnych. Wodór można uzyskać m. in. przez elektrolizę wody.

Elektroliza wody, jak już wcześniej było napisane pozwala uzyskać wodór w najczystszej postaci lecz jest najdroższą metodą. Metoda ta stanowi około 4% całej produkcji wodoru lecz czystość jaką uzyskuje się za jej pomocą stanowi ją najczęściej wykorzystywaną do uzyskiwania wodoru który stosuje się do zasilania ogniw paliwowych PEM, które są stosowane w pojazdach elektrycznych. Elektroliza polega na przeprowadzeniu metanu lub innego węglowodoru przez katalizator (ceramiczne rurki) wzbogacony niklem. Uzyskany wodór przemysłowo tą metodą ma czystość na poziomie 90%. Niestety proces ten pochłania bardzo dużo energii elektrycznej, do wytworzenia której najczęściej służą elektrownie które emitują duże zanieczyszczenia dla środowiska. Do dalszego procesu uzyskiwania czystszy wodoru można użyć kilku metod, zależnie od pochodzenia wodoru i jego składu zanieczyszczeń.

Proces PSA (ang. Pressure Swing Adsorption) wykorzystuje prostą aparaturę co pozwala na oszczędność. Proces ten polega na przepuszczeniu gazu z zawartością wodoru na poziomie 70–80% pod ciśnieniem 10–40 atm, w temperaturze 20–40°C, przez warstwę adsorbentu w którym osadzają się cząsteczki węglowodorowe a małe cząsteczki wodoru przenikają przez niego i stanowią gaz wodorowy o czystości na poziomie 97–99,9%.

Następną metodą jest metoda niskotemperaturowa, polegająca na obniżeniu temperatury gazu wodorowego do momentu w którym nastąpi wykroplenie węglowodorów. Aby uzyskać wodór na poziomie czystości powyżej 95% potrzeba obniżyć temperaturę od -153°C do -173°C.

Kolejną metodą jest dyfuzja wodoru przez membrany palladowe. Cząsteczka poddana dysocjacji na membranie a następnie powstały atom wodoru ulega jonizacji a dalej w postaci protonu przenika przez membranę. Na zewnętrznej powierzchni proton przyłącza elektron, natomiast atomy wodoru łączą się w cząsteczki.

Praca ogniw paliwowych ma dosyć dużą bezwładność, dlatego ważne jest zastosowanie akumulatora. Bezwładność sprawia, że płynne sterowanie mocą silnika bezpośrednio z ogniwa paliwowego nie jest możliwe. Podczas normalnej eksploatacji auta z systemem ogniwa paliwowego jest wytwarzana nadwyżka i niedobór mocy. Dodatkowo każde uruchomienie ogniwa potrzebuje mocy z zewnątrz do podgrzania go do temperatury pracy roboczej.

Bezpieczeństwo pojazdów z ogniwami paliwowymi budzi często wiele zastrzeżeń, wynikające głównie z właściwości wybuchowych wodoru. Jednak wyniki przeprowadzonego eksperymentu na Uniwersytecie w Miami pokazują, dwa identyczne samochody z których jeden jest zasilany wodorem, a drugi benzyną. W aucie zasilanym benzyną przecięto w podwoziu przewód zasilający

z benzyną a w aucie zasilanym wodorem otwarto zawór bezpieczeństwa. Oba samochody zostały podpalone. Po upływie 140 sekund płomienie pojawiły się w kabinie samochodu zasilanego benzyną a kilka chwil później cały samochód spłonął. Samochód zasilany wodorem miał nad tylną częścią karoserii słup ognia a temperatura przy powierzchni tylnej szyby wynosiła 47°C, a wewnątrz na tylnej półce wynosiła 19°C. Po wypaleniu się wodoru w ciągu mniej więcej 90 sekund okazało się, że samochód nie został w jakikolwiek sposób uszkodzony [11].

SUPERKONDENSATORY

Superkondensatory (supercapacitors), ultrakondensatory (ultracapacitors) lub kondensatory dwuwarstwowe (double-layer capacitors) to stosowane nazwy kondensatora elektrolitycznego którego konstrukcja wyróżnia się dużą pojemnością elektryczną w porównaniu do zwykłych kondensatorów elektrolitycznych dużej pojemności. Superkondensatory łączą zalety ogniwo elektrochemicznych jak i tradycyjnych kondensatorów. Mają bardzo krótki czas ładowania, i rozładowywania przy gromadzeniu dużej ilości energii w połączeniu ze stosunkowo niewielkimi rozmiarami.

Superkondensatory zbudowane są z dwóch elektrod z elektrolitem (najczęściej jest to roztwór kwasu siarkowego lub wodorotlenek potasu) które są oddzielone elektrycznie. Elektrody zbudowane są ze spreparowanego węgla aktywnego a ich powierzchnia wynosić może nawet do 3000 m² na jeden gram. Wewnątrz nie zachodzą żadne reakcje chemiczne [5].

Wszystkie superkondensatory mają ograniczone napięcia, do 2,5–2,7 V. Napięcia od 2,8 V są możliwe ale skracają żywotność. Aby uzyskać wyższe napięcia, kilka superkondensatorów łączy się szeregowo. Połączenie szeregowe zmniejsza całkowitą pojemność i zwiększa rezystancję wewnętrzną. Ciągi składające się z więcej niż trzech superkondensatorów wymagają systemów równoważenia napięć.

Energia właściwa superkondensatora wynosić może od 1 Wh/kg do 30 Wh/kg to nawet 10 do 50 razy mniej niż w ogniwach litowo-jonowych. Krzywa rozładowywania jest kolejną wadą. Podczas gdy ogniwa elektrochemiczne dostarczają stałe napięcie w użytecznym paśmie, napięcie superkondensatora zmniejsza się liniowo wraz z oddawaniem energii. Przykładowo jeżeli źródło w postaci superkondensatora jest naładowane i napięcie jego wynosi 6 V, zasila urządzenie do momentu jego wyłączenia (4,5 V) to tylko 46% energii zostanie oddane. Do oddania pozostałej energii stosuje się konwertery DC-DC ale takie rozwiązanie generuje koszty i wprowadza straty. Samorozładowanie superkondensatora jest znacznie większe niż w przypadku kondensatora elektrolitycznego i nieco wyższe niż w przypadku akumulatora elektrochemicznego, przyczynia się do tego ograniczony elektrolit. Superkondensator rozładowuje się samoistnie od 100 do 50% w ciągu 30–40

dni, dlatego najlepiej nadaje się do przechowywania energii w układach w których czas ładowania i rozładowania nie jest dłuższy niż 60 sekund [12].

W pojazdach jako magazyn energii, superkondensatory przyczyniły się do rozwoju układów napędowych. Stosowane są często do oszczędzania energii np. do bardzo szybkiego uruchomienia silnika w funkcji start-stop lub szybkiego przyspieszenia, kiedy to potrzeba jest dużego prądu jako wzmacniacz obciążenia szczytowego a nawet pozwalają zwiększyć moment obrotowy. Stosowane są głównie w układach hybrydowych z bateriami litowo-jonowymi, bezwładnikami lub ogniwami paliwowymi. Dzięki swoim właściwościom znakomicie nadają się również do przechowywania energii z hamowania regeneracyjnego. Superkondensatory mają niską energię właściwą i są drogie. Niektórzy producenci twierdzą, że pieniądze przeznaczone na superkondensatory byłoby lepiej zainwestować na większą baterię [11, 12].

ZASOBNIKI KINETYCZNE

Zasobniki kinetyczne to inercyjne akumulatory mechaniczne, w których wirnik odpowiedzialny za akumulowanie energii wykonuje ruch obrotowy. Taki akumulator energii nazywa się bezwładnościowym. Bezwładniki nazywane są też kołami zamachowymi. Takie koła zamachowe mogą przyspieszyć w ciągu kilku minut, osiągając swoją pojemność energetyczną znacznie szybciej niż większość form magazynowania energii.

Koło zamachowe jest tarczą lub cylindrem o znaczącej masie. Wprowadzone w ruch, gromadzi energię kinetyczną, gdy prędkość obrotowa maleje zwraca ją. Szybkoobrotowa maszyna elektryczna charakteryzuje się dużym osiowym momentem bezwładności i dużą energią kinetyczną. W celu zmniejszenia strat energii, zwiększenia sprawności bezwładnika oraz zwiększenia gęstości energii, stosuje się specjalne łożyskowanie magnetyczne wału maszyny co pozwala na wyeliminowanie kontaktów mechanicznych (straty wynoszą około 2%), wykonuje się specjalną obudowę wzmocnioną włóknem węglowym i stosuje urządzenia pomocnicze co zapewnia większe bezpieczeństwo w przypadku awarii. Wszystkie komponenty zamknięte są w szczelnej próżni, aby zniwelować straty aerodynamiczne. Na lepszą akumulację energii wpływają czynniki związane z naprężeniami, oporami aerodynamicznymi, rozkładem masy oraz z kształtem.

W bezwładniku większy wpływ na ilość gromadzonej energii ma prędkość kątowna ω niż masa m będąca częścią momentu bezwładności. Jednym z podstawowych ograniczeń projektowania koła zamachowego jest wytrzymałość na rozciąganie wirnika, im mocniejszy wirnik tym szybciej wiruje i tym więcej energii może zgromadzić system [3].

Kinetyczny zasobnik najczęściej wykorzystuje się w pojazdach elektrycznych do rozpędzania, co jest jedną z alternatyw. Ze względu na wysoką żywotność, wydajność, szeroki zakres temperatur i gęstość mocy połączenie zasobnika

kinetycznego z silnikiem elektrycznym w pojeździe daje nowy wymiar uzyskiwania energii do ruszania pojazdu.

Rosnące zapotrzebowanie na parametry techniczne układów napędowych a jednocześnie konieczność zmniejszenia zużycia energii i ponownego jej wykorzystania, doprowadziły do ich miniaturyzacji. Postępy w technologii materiałowej, łożyskach magnetycznych i energoelektronice doprowadziły do udanego zastosowania kół zamachowych do krótkotrwałego magazynowania energii. Zasobniki z kołami zamachowymi osiągają dużą prędkość kątową i uzyskują gęstość mocy wyższą niż moc baterii chemicznych. Ponieważ skumulowana energia jest proporcjonalna do kwadratu prędkości i tylko liniowo do masy koła, to duża prędkość kątowa jest niezbędna do gromadzenia dużej ilości energii [7].

Jedną z najważniejszych zalet kół zamachowych jest ich zdolność do radzenia sobie z wysokim poziomem mocy. Właściwość ta jest wymagana w pojazdach podczas gdy wymagana jest duża moc podczas przyśpieszania. Przeciwnie również gdy silnik podczas hamowania działa jako generator i w krótkim czasie energia może zostać zakumulowana w kole zamachowym.

Rozpędzone koło zamachowe w pojeździe działa jak żyroskop, ponieważ moment pędu jest o podobnym rzędzie wielkości, co siły działające na poruszający się pojazd. Ta właściwość może wpływać niekorzystnie na charakterystykę obsługi pojazdu podczas skrętu lub jazdy po nierównym terenie, wjechanie na zbocze skarpy może spowodować częściowe oderwanie się koła pojazdu z ziemi, ponieważ koło zamachowe przeciwstawia się bocznym siłom przechylającym. Z drugiej strony, ta właściwość mogłaby zostać wykorzystana do utrzymania samochodu w równowadze, aby nie przewrócił się podczas ostrych zakrętów. Opór pochylenia kąтового można prawie całkowicie usunąć, montując koło zamachowe w odpowiednich przegubach umożliwiających zachowanie pierwotnej orientacji koła zamachowego bez względu na położenie pojazdu. Niestety nie zapobiega to utracie jednego stopnia swobody (jednego z trzech). Oś środkowa koła zamachowego działa jak pojedynczy przegub. Jeśli jest ustawiona pionowo, pozwala na 360 stopni odchylenia w płaszczyźnie pionowej. Jednakże np. jazda pod górę wymaga drugiego przegubu a jazda po pochyłym terenie wymaga trzeciego [9].

ANALIZA I ZESTAWIENIE DANYCH

Zestawienie parametrów oraz oszacowanie ich wartości tak, aby były przedstawione w jednakowych jednostkach często jest trudne ale są źródła z których można znaleźć te informacje. Tabela 2. przedstawia rzadko spotykane porównanie magazynów pod kątem wartości, tak ważnych parametrów [1].

Tabela 2. Porównanie sposobów magazynowania energii w pojazdach elektrycznych, przedstawiające wartości średnie parametrów użytkowych [1]

Sposób magazynowania energii	Rodzina akumulatorów litowo-jonowych	Ogniwa paliwowe	Super-kondensatory	Zasobniki kinetyczne
Gęstość energii [Wh/kg]	150-160	400	5	7
Gęstość mocy [W/kg]	400	80	6500	6000
Żywotność [Liczba cykli / lata]	2000/5 lat	10 lat	800000/20 lat	1000000/20 lat
Koszty [USD/1 kWh]	200	200	1000	300
Sprawność [%]	90	65	97	95
Czas odpowiedzi [s]	0,03	1>	0,02	0,03
Bezpieczeństwo	Niebezpieczne	Mało niebezpieczne	Bezpieczne	Mało Bezpieczne

Najlepszym dotychczas rozwiązaniem magazynowania energii w układach napędowych pojazdów elektrycznych jest magazynowanie jej w akumulatorach litowo-jonowych. Postęp technologiczny sprawia, że ich parametry stają się co raz bardziej zbliżone do takich, aby stać się niezależnymi magazynami. Obecnie samo dostarczanie energii potrzebnej dla uzyskania pełnego momentu obrotowego silnika, akumulatorom litowo-jonowym udaje się osiągnąć przez ograniczony czas trwający do kilku / kilkunastu sekund. Wyższą sprawność działania systemu, uzyskuje się poprzez połączenie akumulatorów-litowych z drugim rodzajem magazynu. Najczęściej spotykane połączenie to akumulator litowo-jonowy i superkondensator. Superkondensator usprawnia proces odzyskiwania energii z hamowania do prawie 100% i poprawia wydajność oraz oszczędność energii o około 30%. Zastosowanie samego pakietu superkondensatorów może służyć do odciążenia sieci trakcyjnej zasilającej trolejbusy lub tramwaje i pozwala na przejechanie od 200 do 400 metrów na jednym naładowaniu. Wówczas zużycie energii z sieci spada o nawet 30%. Superkondensatory podobnie jak z akumulatorami litowo-jonowymi mogą współpracować z ogniwami paliwowymi. Dodatkowo małe pakiety akumulatorów litowo-jonowych użyte w pojazdach zasilanych z ogniw paliwowych wykorzystane są do gromadzenia energii z nadwyżki jej produkcji i tej odzyskanej podczas hamowania. Zasobniki kinetyczne wykorzystywane są w podobnym celu jak superkondensatory. Energię zgromadzoną podczas hamowania wykorzystuje się do rozruchu pojazdu i oszczędności, zużycia energii. Duże pojedyncze zestawy zasobników kinetycznych wykorzystywane mogą być w transporcie miejskim. Wówczas ładowanie energii odbywa się na

przystankach i trwa około 2 min. Energia która jest zakumulowana, a później zużyta, jest w dużym stopniu odzyskiwana (zakładając częsty cykl ładowania i rozładowywania) dlatego zużycie energii może spaść nawet o 30% [1].

PODSUMOWANIE

Zapotrzebowanie na energię elektryczną stale wzrasta, w dużym stopniu poprzez bardzo szybki wzrost liczby pojazdów elektrycznych. Cena energii elektrycznej też wzrasta. Jeżeli źródła jej pozyskiwania się zmieniają (w mniejszym stopniu będą wykorzystywać paliwa kopalne i będą ekologiczne) to będzie można rozwijać infrastrukturę stacji ładowania pojazdów i moc samych stacji, a przy tym zadbać o ekologię. Pozwoli to też na rozwinięcie się innych technik dostarczania energii do silników pojazdów elektrycznych. W pierwszej kolejności do tego rozwiązania stoją ogniwa paliwowe. Jest to wygodne rozwiązanie ale przy obecnej cenie za wodór mało opłacalne. Wysoka jego cena jest związana z zużyciem dużej ilości energii elektrycznej w procesie jego uzyskania. Wiąże się to też z dużym zanieczyszczeniem środowiska, poprzez samo wytworzenie energii elektrycznej. Użytkownikom aut zasilających ogniwami paliwowymi, podróż takim pojazdem byłaby bardzo podobna do podróży pojazdami na paliwa płynne a dodatkowo auto nie wymagałoby tak wielu czynności serwisowych, które są konieczne w silnikach spalinowych [1].

Najlepsze rezultaty uzyskuje się poprzez zastosowanie współpracy głównych magazynów energii z innym rodzajem magazynu.

Rozwój technologii powinien sprawić, że w przyszłości motoryzacja nie będzie uzależniona tylko od jednego typu pojazdów elektrycznych.

Różne rodzaje energii możliwej do zgromadzenia w różnych zasobnikach, poszerzają możliwości a ich odpowiednie dobranie i współpraca pozwala na uzyskanie parametrów bliskich pożądanym.

LITERATURA

- [1] Bujnik M., *Analiza porównawcza sposobów magazynowania energii w układach napędowych pojazdów elektrycznych*, praca dyplomowa, Politechnika Lubelska 2019
- [2] Banaszek K., Struski B., Duer S., *Zastosowanie ogniwo paliwowych PEM w pojazdach samochodowych*, Czasopismo Autobusy, e-ISSN 2450-7725, 2016 nr 8, 226–229
- [3] Frańś J., Matulewski M., *Magazynowanie energii w pojazdach proekologicznych*, Problemy nauk stosowanych, 2015, Tom 3
- [4] Jaroszyński L., *Akumulatory litowe w pojazdach elektrycznych*, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 87 NR 8/2011
- [5] Krawczyk G., *Zasobniki energii elektrycznej w transporcie szynowym*, Czasopismo Autobusy, e-ISSN 2450-7725, 2013, nr 3, 1065–1076
- [6] Markowski J., Pielecha I., Nowacki M., Olejniczak D., Wirkowski P., Dudek M., Raźniak A., *Potencjał ogniwo paliwowych jako źródło napędu środków transportu*, Journal of Polish CIMEEAC, Vol. 12, no 1, 65–76.

- [7] Plomer J., First J., *Flywheel energy storage retrofit system for hybrid and electric vehicles*, Smart Cities Symposium Prague SCSP), IEEE Xplore, e-ISBN: 978-1-4673-6727-1, DOI: 10.1109/SCSP.2015.7181571
- [8] Siedlecki M., Galant M., Fuć P., Lijewski P., *Porównanie parametrów użytkowych akumulatorów w technologii litowo-jonowej stosowanych w układach napędowych pojazdów elektrycznych*, Czasopismo logistyka, 2015 nr 3, 4340–4349
- [9] Yoshihiro S., Junhoi H., Masahiko A., Lin S., Takahata R., Mukaide N., *Study on Rollover prevention of heavy-duty vehicles by using flywheel energy storage systems*, Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress, Lecture Notes in Electrical Engineering Volume 197, 2013, pp 693-701, doi: 10.1007/978-3-642-33805-2_57
- [10] <http://www.toyota.pl>, zasoby z dnia 20.01.2019 r.
- [11] <https://elektronikab2b.pl/technika/1459-superkondensatory-w-samochodzie>, zasoby z dnia 24.01.2019
- [12] https://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor, zasoby z dnia 24.01.2019
- [13] https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion, zasoby z dnia 26.01.2019

STRATY W ŻYŁACH POWROTNYCH LINII KABLOWYCH I METODY ICH OGRANICZANIA – CROSS-BONDING

WSTĘP

Niniejszy artykuł ma na celu zaprezentowanie problemu dotyczącego strat powstających w żyłach powrotnych linii kablowych, oraz metod, które pozwalają w mniejszym lub większym stopniu na ich ograniczanie.

Straty rezystancyjne w żyłce powrotnej, bo o nich będzie mowa, związane są ściśle z indukcyjnością wzajemną kabli. Powodują one straty mocy podczas jej przesyłu, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie ich obciążalności oraz zwiększenie kosztów za energię elektryczną.

STRATY W ŻYŁACH POWROTNYCH LINII KABLOWYCH

Straty w żyłach powrotnych są stratami rezystancyjnymi. Do ich powstawania przyczynia się siła elektromotoryczna (SEM), która jest indukowana na wskutek przepływu prądu przez żyły robocze i powoduje przepływ prądu indukowanego w żyłce powrotnej. Przepływ takiego prądu generuje w żyłach powrotnych straty rezystancyjne, które niekiedy są większe co do wartości od strat rezystancyjnych w żyłach roboczych. Wielkość strat determinowana jest przez takie czynniki jak wartość prądu płynącego przez żyły robocze, przekroje żył powrotnych, oraz sposób układania kabli względem siebie podczas budowy linii.

Aby wyznaczyć straty w żyłach powrotnych można skorzystać z podanych zależności:

$$M_w^2 = \frac{\mu}{2\pi} \ln\left(\frac{d}{r}\right) \quad (1)$$

gdzie: M_w^2 – indukcyjność wzajemna kabli, μ – przenikalność magnetyczna, d – średnia wartość średnicy na żyłce powrotnej kabla, r – promień żyły.

$$E_{z.p.} = I\omega M_w^2 \quad (2)$$

gdzie $E_{z.p.}$ – SEM w żyłce powrotnej, ω – pulsacja, I – prąd w żyłce roboczej.

$$I_{z.p.} = \frac{E_{z.p.}}{(R_{z.p.}^2 + \omega^2 M_w^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

¹Politechnika Lubelska, WEiI, latawiec.raf@gmail.com

gdzie: $I_{z.p.}$ – prąd indukowany w żyły powrotnej, $R_{z.p.}$ – rezystancja żyły powrotnej.

$$P_{z.p.} = I_{z.p.}^2 R_{z.p.} \quad (4)$$

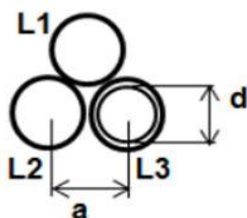
gdzie: $P_{z.p.}$ – straty w żyły powrotnej.

Wartość indukowanej SEM, jak zostało wcześniej wspomniane, zależna jest m.in. od sposobu układania kabli. Możemy wyróżnić dwa sposoby układania i są nimi układ trójkątny „na styk” (Rys.1), oraz układ płaski (Rys.2) [2].

W układzie trójkątnym (na styk) wartość indukowanej SEM jest najmniejsza. Wyznaczyć ją można z podanej niżej zależności:

$$E = 2I\omega 10^{-4} \ln \frac{a}{d} \quad (5)$$

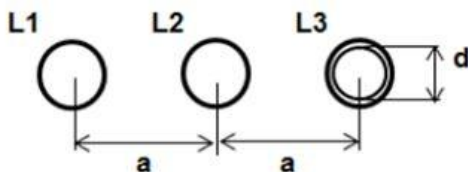
gdzie: E – indukowana siła elektromotoryczna, I – prąd w żyły roboczej, ω – pulsacja, a – odległość między środkami kabli, d – średnia wartość średnicy na żyły powrotnej kabla.



Rys. 1. Układ kabli trójkątny (na styk)[4]

W układzie płaskim indukowana SEM jest zauważalnie większa i wyznaczyć ją można z zależności (6) dla kabli L1 i L3, dla kabla L2 z zależności (5):

$$E = 2I\omega 10^{-4} \ln \left(-\frac{1}{2} \ln \frac{a}{d} \pm j \frac{\sqrt{3}}{2} \ln \frac{4a}{d} \right) \quad (6)$$

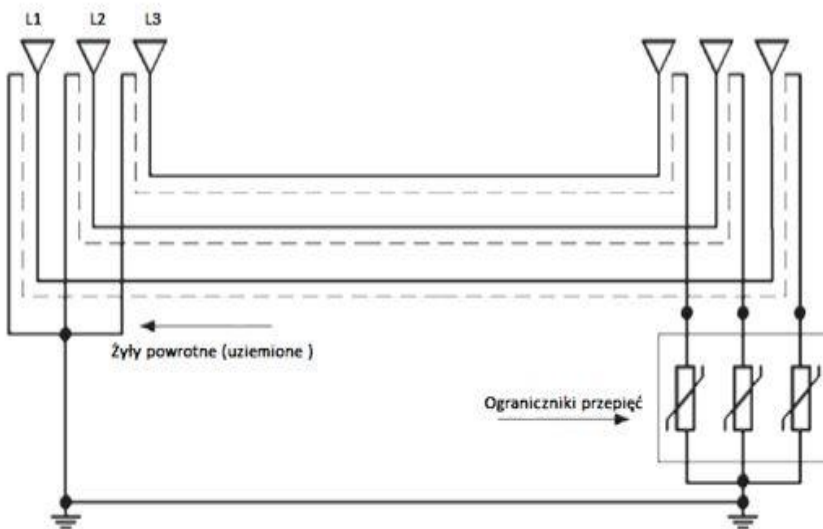


Rys. 2. Układ kabli płaski [4]

METODY OGRANICZANIA STRAT W ŻYŁACH POWROTNYCH

Jednym z najbardziej znanych i najczęściej stosowanych sposobów do ograniczenia strat rezystancyjnych w żyły powrotnej jest jej uziemienie na

początku bądź końcu linii. Uziemienie żyły powrotnej można realizować również w środku linii, lecz ten sposób jest jednak pomijany. Kiedy żyła powrotna zostaje uziemiona na jednym z końców linii, należy zwrócić uwagę na potencjał drugiego końca względem ziemi [5]. W sytuacji tej napotykamy kolejny problem związany z powstawaniem w żyłach powrotnej przepięć łączeniowych i piorunowych. Wymagane jest wtedy zabezpieczenie uziemionego końca ogranicznikiem przepięć. Montaż ograniczników na uziemionym końcu jest konieczny, mimo ograniczników przepięć stosowanych na żyłach roboczych. Brak takiego zabezpieczenia może doprowadzić do uszkodzeń powłok i osłon kabla, w wyniku przepięć powstałych w żyłach roboczych, które z kolei generują przepięcia w żyłach powrotnych. Sposób jednostronnego uziemienia żył powrotnych wraz z ogranicznikami przepięć został przedstawiony na (Rys. 3).



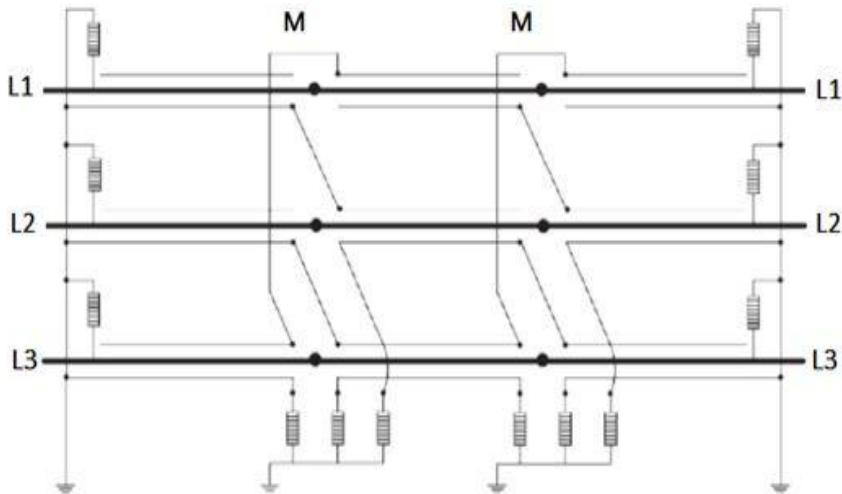
Rys. 3. Układ linii kablowej z jednostronnie uziemionymi żyłami powrotnymi i ogranicznikami przepięć [6]

Bardzo częstym błędem, który zostaje popełniany podczas projektowania i budowy linii kablowych jest nieprawidłowy dobór przekroju żył powrotnych. Jest to dosyć istotne kiedy zwracamy uwagę na zwarcia w warunkach normalnych. W czasie zwarcia, żyły powrotne mogą nagrzewać do temperatur wielokrotnie przekraczających wartości dopuszczalne [7]. Prawidłowy dobór przekroju możemy określić za pomocą wzoru:

$$S = \sqrt{\frac{I^2 \alpha t}{c \gamma d \ln \frac{1 + \alpha(T_k - 20)}{1 + \alpha(T_1 - 20)}}} \quad (7)$$

gdzie: S – przekrój żyły powrotnej, I – prąd zwarciovowy, t – czas trwania prądu zwarciovowego, T_k – temperatura końcowa żyły, T_1 – temperatura początkowa żyły w chwili zwarcia, d – gęstość materiału żyły, γ – elektryczna przewodność właściwa żyły, α – temperaturowy współczynnik zmian rezystancji, c – ciepło właściwe materiału żyły.

Drugim mniej znanym sposobem ograniczania strat jest cross-bonding. Technika ta polega na zmianie sposobu połączenia żył powrotnych poprzez krzyżowanie ich między poszczególnymi fazami. Sposób takiego połączenia przedstawiono na (Rys. 4).



Rys. 4. Schemat połączenia żył powrotnych w cross-bondingu, M- mufy cross-bondingowe

Cross-bonding można stosować we wszystkich typach sieci WN, SN i NN. W ostatnich latach ta technika staje się powoli standardem w liniach 110 kV, rzadko spotykana jest jednak w liniach SN.

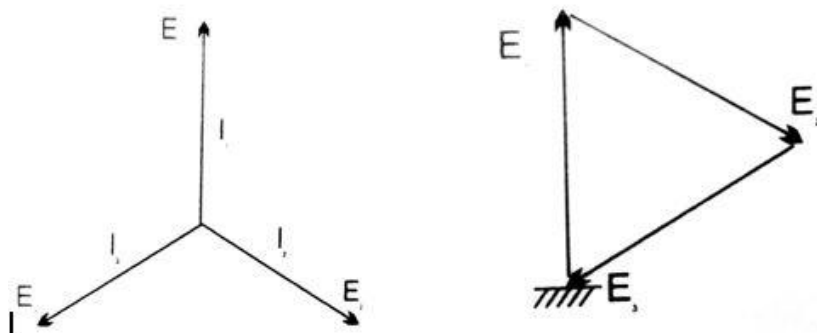
Samo krzyżowanie żył powrotnych odbywa się poprzez podział linii na trzy równe długości albo wielokrotność "trójki". Do połączenia żył używa się specjalnych muf cross-bondingowych. Dają one możliwość połączenia ze sobą żył powrotnych sąsiednich faz. Po połączeniu mufy zostają zamykane w specjalnych skrzyniach cross-bondingowych, które umożliwiają dostęp do nich i ewentualne przeglądy i konserwacje ograniczników przepięć, które muszą być bezwzględnie w nich zainstalowane. Nieciągłość żył powrotnych

w przypadku braku ograniczników powoduje powstanie spiętrzenia fal napięciowych.

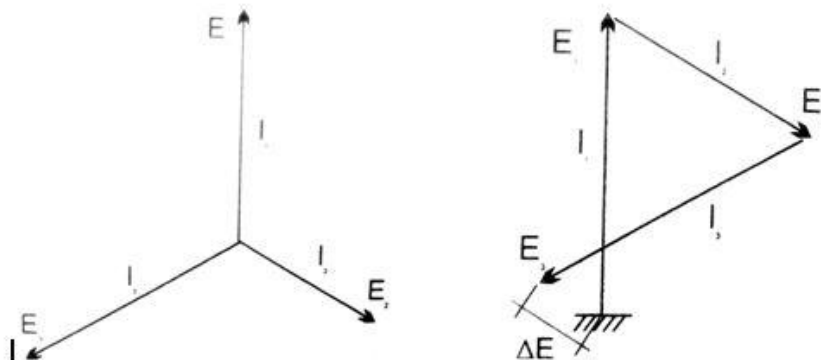
Zależności opisująca ilość stosowanych muf w jednej fazie wygląda następująco: $3n-1$, gdzie $n=1,2,3,\dots$ [3]. Przy stosowaniu cross-bondingu trzeba zwracać uwagę na to, że żyła powrotna która należała na początku do fazy L1 na jej końcu będzie należała do jednej z faz L2 lub L3.

W układzie trójkątnym przy założeniu, że wszystkie odcinki linii będą sobie równe, to suma SEM, które w nich się wyidukowały, będzie równa zero.

W układzie płaskim zaś, w związku wartością SEM indukowanej w żyłe środkowej L2 (wartość ta jest mniejsza od pozostałych dwóch), różnica będzie różniła się od zera. Dla zobrazowania tych sytuacji przedstawione zostały wykresy wskazowe (Rys. 5, Rys. 6) [3].

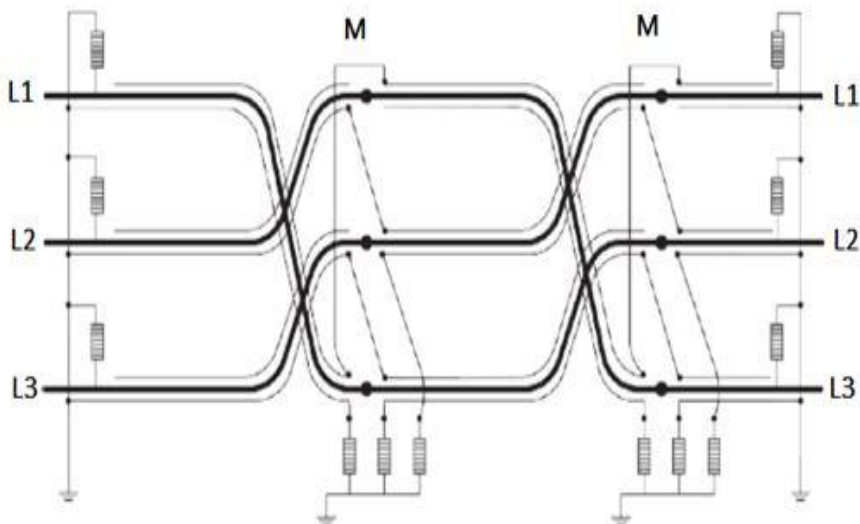


Rys. 5. Wykres wskazowy indukowanych SEM w żyłe powrotnej fazy L1, według oznaczeń na początku linii kablowej dla układ trójkątny [3]



Rys. 6. Wykres wskazowy indukowanych SEM w żyłe powrotnej fazy L1, według oznaczeń na początku linii kablowej dla układu płaskiego [3]

Rozwiązaniem dla problemu powstałego w układzie płaskim może być zastosowanie metody przeplatania kabli z cross-bondingiem żył powrotnych (Rys. 7), które zostało przedstawione poniżej.



Rys. 7. Przeplatanie kabli wraz z cross-bondingiem żył powrotnych

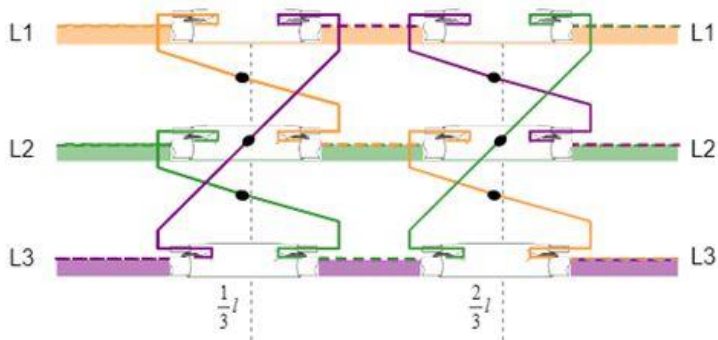
Cross-bonding może być realizowany na dwa sposoby [8]. Pierwszym sposobem jest cross-bonding pełny, drugim zaś cross-bonding połówkowy. Różnica między tymi dwoma sposobami polega na skuteczności ograniczania strat. Cross-bonding pełny (Rys. 8) przewiduje zastosowanie dwóch kompletów muf. Umożliwia to prawie całkowite ograniczenie prądu indukowanego w żyłę (do ok. 2%) i redukcję strat rezystancyjnych o ok. 90%.

$$P_{z.p.} = (0.5 \cdot 20\% I)^2 R_{z.p.} \quad (8)$$

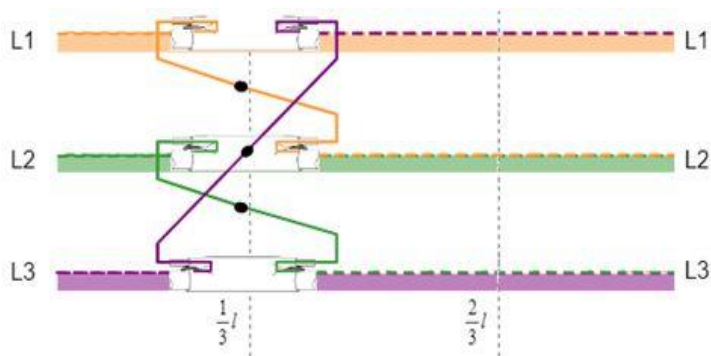
gdzie: $P_{z.p.}$ – straty w żyłę powrotnej, $20\% I$ – prąd indukowany w żyłę powrotnej w założeniu ok. $20\% I$ w żyłę roboczej.

Cross-bonding połówkowy (Rys. 9) ogranicza prąd indukowany w żyłę powrotnej do wartości ok. 11–12% i redukuje straty rezystancyjne o ok. 40%. Realizowany jest za pomocą jednego kompletu muf zainstalowanego na 1/3 długości linii kablowej.

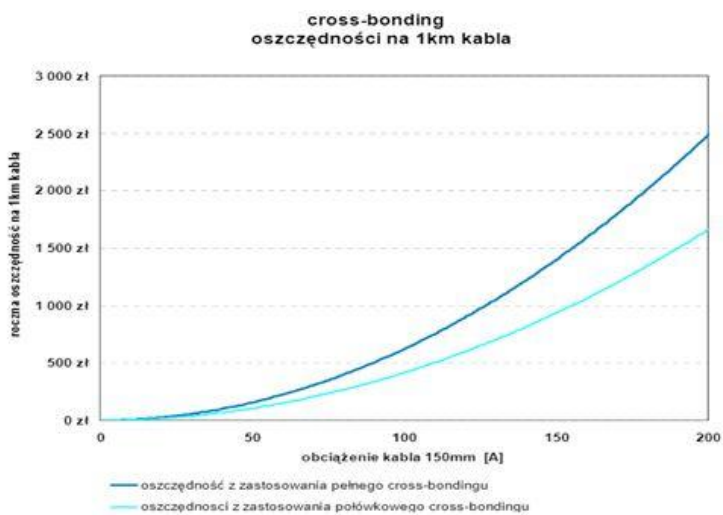
$$P_{z.p.} = (20\% I)^2 R_{z.p.} \quad (9)$$



Rys. 8. Cross-bonding pełny [8]



Rys. 9. Cross-bonding połówkowy [8]



Rys. 10. Oszczędność zastosowania cross-bonding [8]

Zalety cross-bondingu:

- Ograniczenie strat rezystancyjnych w liniach kablowych o ok. 10%, zwiększenie ich efektywności i możliwość zwiększenia obciążalności,
- zmniejszenie kosztów cen energii- redukcja strat,
- zmniejszenie ilości paliwa wykorzystywanego do produkcji energii,
- zmniejszenie emisji CO₂ do atmosfery.

Wady cross-bondingu:

- Technologia niestandardowa,
- konieczność dodatkowych kwalifikacji,
- stosowanie w sieciach docelowych, wcinanie w kabel w istniejących liniach zmniejsza efektywność cross-bondingu,
- konieczne odwzorowania w projektach.

PODSUMOWANIE

Straty rezystancyjne w żyłach powrotnych są dosyć istotnym problemem pojawiającym się podczas przesyłu mocy w liniach kablowych. Są problemem zarówno technicznym jak i ekonomicznym. Technicznym ponieważ powoduje to zwiększone nagrzewanie kabli, co prowadzi w efekcie do zmniejszenia ich obciążalności i szybszego procesu niszczenia izolacji oraz powłok ochronnych. Ekonomiczny ponieważ, za energię, która jest tracona w czasie jej przesyłu płaci odbiorca.

Która z metod ograniczania wyżej omawianych strat jest skuteczniejsza? Mimo małej jak dotąd popularności, bardziej skuteczny jest cross-bonding. Dzięki cross-bondingowi (Rys. 10) oszczędność na 1 km kabla wynosi od kilkuset do nawet kilku tysięcy złotych, w zależności od grubości i jego obciążenia [9].

Skuteczność cross-bondingu została również zbadana w sposób praktyczny, za pomocą obliczeń dla konkretnego modelu linii kablowej na potrzeby pracy inżynierskiej [9]. Obliczenia te pozwoliły na zobrazowanie prawdziwości założeń teoretycznych przedstawionych w różnych źródłach literaturowych.

Można stwierdzić, że dodatkowy i niewielki nakład finansowy podczas budowy linii kablowych może dawać w przyszłości spore oszczędności podczas przesyłu energii. Nakłady te to jedynie dodatkowe kwalifikacje kadr oraz elementy takie jak mufy i skrzynki cross-bondingowe.

LITERATURA

- [1] Włodarski R., *Linie kablowe bardzo wysokich napięć. Projektowanie i budowa*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1979
- [2] Spyra F., *Ograniczanie strat w sieciach kablowych*, Energetyka, vol. 2009/4, 2009
- [3] Spyra F., *Wybrane zagadnienia budowy linii kablowych – ograniczanie strat w żyłach powrotnych*, Energetyka, vol. 2006/4, 2006

- [4] Krawiec H., *Przyczyny grzania się bednarki i żył powrotnych kabli 6 kV*, Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, vol. 2014, no. 1, 2014
- [5] Spyra F., Urbańczyk M. *Rozkład potencjału wzdłuż uziemionej obustronnie żyły powrotnej kabla elektroenergetycznego*
- [6] Duda D., Szadkowski M., *Ochrona przeciwprzepięciowa osłon kabli WN w różnych układach połączeń żył powrotnych*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 2014, no. 10, 2014
- [7] Spyra F., Urbańczyk M., *Dobór przekroju żyły powrotnej w kablach elektroenergetycznych*, Energetyka, vol. 2008/4, 2008
- [8] Stawiarski A., Jakubowski J., Kibler M., Paśniewski M., Ed., *Cross-bonding jako technologia wpisująca się w Pakiet Energetyczno-Klimatyczny 3x20*, 2010
- [9] Latawiec R., *Ograniczanie strat w sieciach kablowych-cross-bonding*, Praca dyplomowa, Politechnika Lubelska, 2019.

WIRTUALNE PRZYRZĄDY POMIAROWE JAKO NARZĘDZIA PRACY INŻYNIERA

WSTĘP

W dzisiejszych czasach, kiedy tempo postępu technologicznego z roku na rok bardzo szybko rośnie, w wielu dziedzinach życia występuje potrzeba mierzenia wielkości fizycznych. Klasyczne przyrządy pomiarowe z czasem przestaną być używane – zostaną one zastąpione przez przyrządy wirtualne.

W tym artykule omawiam, czym są wirtualne przyrządy pomiarowe oraz jak z nich korzystać. Odnosząc się do mojej pracy inżynierskiej, przedstawiam przykład takiego właśnie przyrządu. Na koniec wyjaśniam, dlaczego uważam wirtualne przyrządy pomiarowe za przyszłość metrologii i czemu każdy inżynier powinien umieć się nimi posługiwać.

CZYM JEST WIRTUALNY PRZYRZĄD POMIAROWY?

„Przyrząd wirtualny jest rodzajem inteligentnego przyrządu pomiarowego, powstałego w wyniku sprzężenia pewnego sprzętu nowej generacji z komputerem osobistym ogólnego przeznaczenia i przyjaznym dla użytkownika oprogramowaniem, które umożliwi użytkownikowi współpracę z komputerem na zasadach takich, jakby obsługiwał tradycyjny przyrząd pomiarowy.” [1]

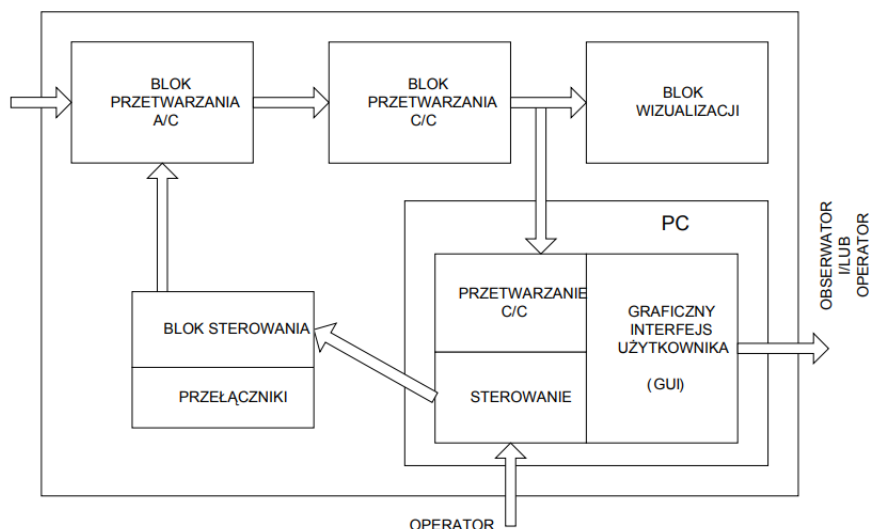
Ta definicja, choć na pozór wydaje się być dość enigmatyczną, bardzo dobrze opisuje, czym są przyrządy wirtualne. W skrócie możemy powiedzieć, że wirtualny przyrząd składa się z komputera osobistego, do którego podłączony jest jakiegoś rodzaju przetwornik bądź inne urządzenie, które przetwarza sygnał i wysyła go do komputera. Na komputerze znajduje się oprogramowanie służące do przetwarzania otrzymanych danych oraz ich interpretacji i wyświetlenia wedle upodobań użytkownika.

Jedną z zauważalnych zalet przyrządów wirtualnych jest fakt, że sposób przetwarzania danych, które mają być wykorzystane, ustala sam użytkownik. Wygląd zewnętrzny również może być personalizowany. Urządzenia tradycyjne mają z góry zdefiniowany przez producenta takich urządzeń sposób przetwarzania i wygląd.

Kolejną istotną zaletą, a wręcz przewagą urządzeń wirtualnych nad tradycyjnymi, jest ich wielozadaniowość. W gruncie rzeczy to tylko od użytkownika zależy, jakie dane będą widoczne oraz jakie informacje będą

¹Politechnika Lubelska, WEiI, szymon.dejnek@pollub.edu.pl

przetwarzane. Używając tylko jednego przetwornika jesteśmy w stanie dokonać złożonych pomiarów wielu wielkości naraz.



Rys. 1. Struktura wirtualnego przyrządu pomiarowego [2]

OPROGRAMOWANIE

Aby obsłużyć wirtualny przyrząd pomiarowy, potrzebujemy odpowiedniego oprogramowania. Najpopularniejszym oprogramowaniem wykorzystywanym w pomiarach wirtualnymi przyrządami jest LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench).

LabVIEW zostało stworzone przez firmę National Instruments i jest graficznym środowiskiem programistycznym. Językiem programowania jest język „G”. Oprogramowanie to jest wykorzystywane zarówno przez ośrodki badawcze takie jak Europejska Organizacja Badań Jądrowych CERN czy Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA), jak również przez studentów na zajęciach laboratoryjnych oraz w zakładach przemysłowych.

Przedsiębiorstwo NI (National Instruments) posiada w swojej ofercie zewnętrzne karty pomiarowe, które za pomocą interfejsu USB można podłączyć do komputera. Karty pomiarowe to układy scalone z wieloma portami wejścia i wyjścia (I/O) w formie cyfrowej i analogowej, których zadaniem jest przetworzenie sygnału oraz wysłanie go do komputera.

Patrząc na definicję wirtualnego przyrządu pomiarowego możemy dojść do wniosku, że aby samemu stworzyć wirtualny przyrząd potrzebujemy tylko modułu pomiarowego opartego na mikrokontrolerze, np. Atmel AVR oraz umiejętności w programowaniu mikrokontrolerów. Dobrym rozwiązaniem są gotowe układy scalone, tzw. Arduino. Dzięki temu, że aplikacja do

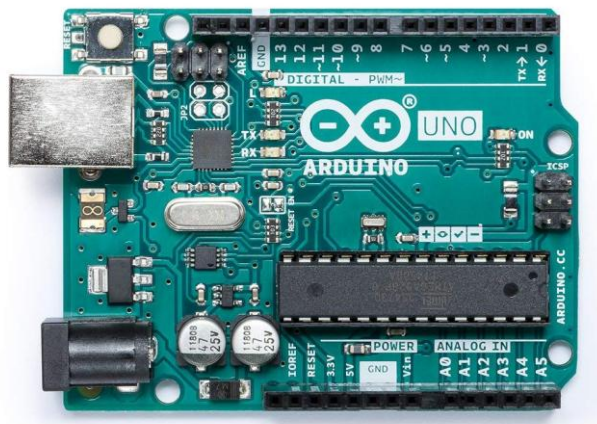
programowania płytek Arduino jest darmowa, jedyne, za co musimy zapłacić, to płytki dostępne na oficjalnej stronie producenta [3].

MODUŁ POMIAROWY

Modułem pomiarowym może być każde urządzenie zdolne do przetworzenia sygnału i wysłania go do komputera. Najpopularniejszymi z nich są tzw. karty pomiarowe np. NI USB-6008. Moduł taki składa się z portów wejścia i wyjścia w formie cyfrowej i analogowej, a poprzez USB łączy się z komputerem.

Zadaniem modułu pomiarowego jest „współpraca” z czujnikami do niego podłączonymi oraz przekazanie informacji o odczytach do komputera. Najprostszym modułem może być przetwornik A/C wraz z modułem komunikacyjnym oraz odpowiednie oprogramowanie.

Jak już wcześniej wspominałem, za moduł pomiarowy może służyć gotowy układ scalony np. ATmega328 w Arduino UNO. Sercem takiego modułu jest mikrokontroler, który możemy dowolnie programować.



Rys. 2. Płytki Arduino UNO [3]

PRZYKŁAD WIRTUALNEGO PRZYRZĄDU POMIAROWEGO

Na podstawie mojej pracy inżynierskiej pt. „Projekt wirtualnego miernika pojemności elektrycznej w środowisku programistycznym LabVIEW” postaram się opisać, jak wygląda mój projekt oraz sposób jego wykonania.

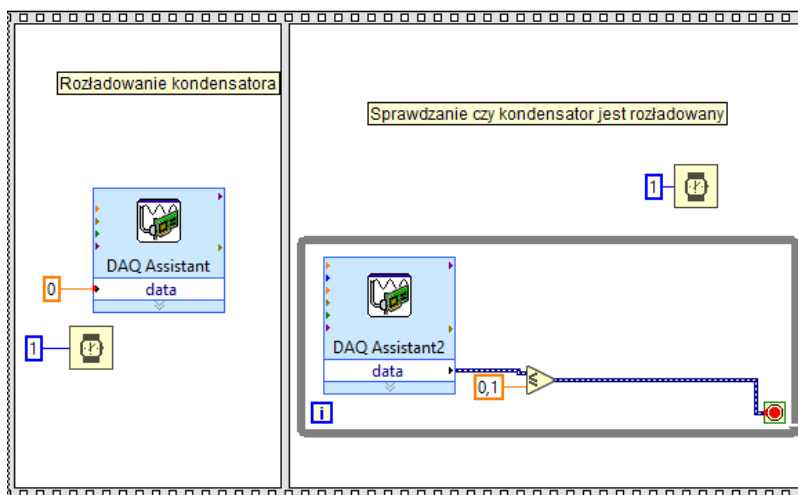
Na samym początku przeanalizowałem różne metody pomiaru pojemności elektrycznej. W moim projekcie wykorzystałem metodę przetwarzania pojemności w przedział czasu [4]. Środowisko, w którym pracowałem, to LabVIEW wraz z zewnętrzną kartą pomiarową NI USB-6008.

Proces ten polega na pomiarze czasu ładowania kondensatora napięciem 5 V przez rezystor 10 kΩ. W chwili równej pierwszej stałej czasowej, czyli wtedy,

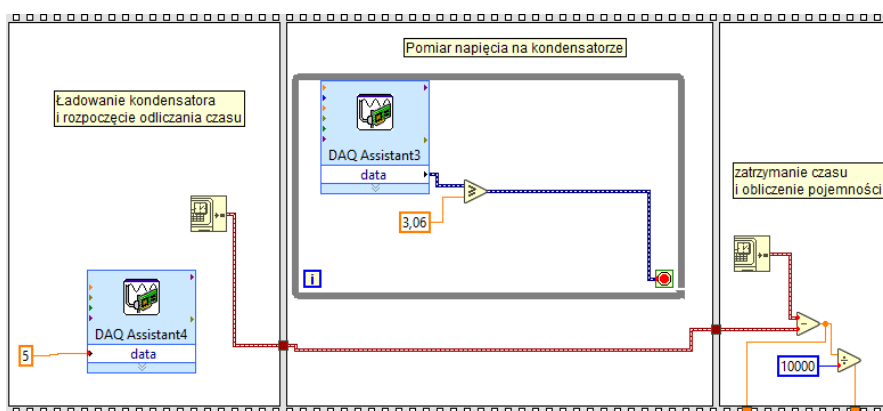
Po przeprowadzeniu serii trzydziestu pomiarów pojemności wynik jest uśredniany i wyświetlany na panelu czołowym. Miernik ten wyznacza niepewności i błędy pomiaru i wyświetla je, co pozwala oszacować dokładność oraz powtarzalność urządzenia.

Sam kod programu jest bardzo rozbudowany i można go podzielić na kilka części. Możemy wyróżnić: rozładowanie kondensatora, ładowanie kondensatora i faktyczny pomiar pojemności.

Na samym początku na wyjście analogowe karty podawane jest napięcie 0 V w celu ewentualnego rozładowania kondensatora oraz mierzone jest napięcie na kondensatorze aby sprawdzić, czy jest rozładowany.



Rys. 5. Fragment kodu odpowiedzialnego za proces rozładowania kondensatora oraz sprawdzenia czy jest rozładowany



Rys. 6. Fragment kodu odpowiedzialnego za proces ładowania kondensatora oraz właściwy pomiar pojemności

Następnie rozpoczyna się proces ładowania kondensatora. Z wyjścia analogowego otrzymujemy napięcie o wartości 5 V oraz rozpoczynamy pomiar czasu. Kiedy zostanie osiągnięta określona wartość napięcia, pomiar czasu jest zatrzymany.

PODSUMOWANIE

Metrologia oraz techniki pomiarowe ewoluują z każdym rokiem. Pierwszymi głównymi przyrządami pomiarowymi były mierniki analogowe. Z czasem zostały one zastąpione miernikami cyfrowymi, które były udoskonalane. Kolejnym etapem są wirtualne przyrządy pomiarowe.

Dzięki swojej uniwersalności mogą być wykorzystywane w wielu dziedzinach. Możliwość zaprogramowania panelu czołowego jest zdecydowaną przewagą takiego przyrządu nad urządzeniem tradycyjnym.

Przez to, że wirtualne przyrządy pomiarowe są obecne w każdym zakładzie przemysłowym, nieznanomość posługiwania się nimi jest wręcz niedopuszczalna. Uważam, że dobry inżynier powinien umieć łączyć trzy rzeczy: wiedzę, którą zdobył na etapie kształcenia oraz zdobywa przez całe życie, odpowiednie umiejętności do wykonywania swojego zawodu oraz narzędzia, które pozwolą mu realizować powierzone zadania.

Do takich narzędzi należą wirtualne przyrządy pomiarowe. W połączeniu z wiedzą i umiejętnościami mogą być wykorzystywane w celu usprawnienia działania zakładu pracy czy przyspieszenia badań naukowych.

LITERATURA

- [1] Rak R., *Wirtualny przyrząd pomiarowy – realne narzędzie współczesnej metrologii*, OW PW, Warszawa 2003
- [2] Ćwiczenie laboratoryjne – *Wirtualne przyrządy pomiarowe*, Politechnika Warszawska, <http://www.ee.pw.edu.pl/~nozykop1/wpp.pdf> , zasoby z dnia 8.06.2019
- [3] Sklep internetowy Arduino, <https://store.arduino.cc/> , zasoby z dnia 8.06.2019
- [4] Chwaleba A., Poniński M., Siedlicki A., *Metrologia elektryczna*, WNT, Warszawa 2015.

STANOWISKO LABORATORYJNE DO BADANIA WZMACNIACZY OPERACYJNYCH

WSTĘP

Wzmacniacze operacyjne są wykorzystywane jako komponenty do tworzenia zarówno prostych jak i skomplikowanych urządzeń, stosowane są w elektronice analogowej oraz cyfrowej. Początkowo były zbudowane z lamp elektronowych jednak pobierały one wówczas duże ilości energii. Wraz z rozwojem technologii półprzewodników w konstrukcjach wzmacniaczy operacyjnych zaczęto stosować tranzystory, początkowo bipolarne, aktualnie unipolarne i MOSFET. Punktem zwrotnym w historii wzmacniaczy było zbudowanie w roku 1967 wzmacniacza $\mu A741$. Obecnie wzmacniacze operacyjne są jednymi z najbardziej popularnych elementów stosowanych do kondycjonowania sygnałów analogowych w tym wzmacniania czy filtracji, jednak posiadają one wiele innych zastosowań takie jak generatory, regulatory czy komparatory [7].

W niniejszym artykule zaprezentowano projekt oraz wykonanie stanowiska laboratoryjnego do badania wzmacniaczy operacyjnych które ma na celu umożliwienie zapoznania się studentów z podstawowymi układami pracy. Projektowane stanowisko powinno odznaczać się możliwością prostej zamiany konfiguracji badanego układu, a także możliwością wyznaczenia podstawowych charakterystyk i dołączenia zewnętrznych komponentów RC.

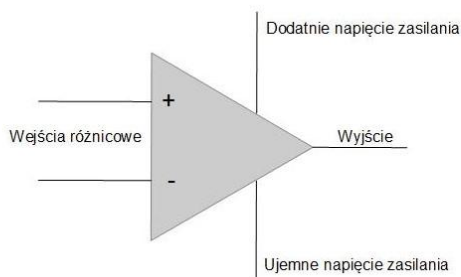
PODSTAWY TEORETYCZNE

Wzmacniacz operacyjny (operational amplifier), jest to wzmacniacz prądu stałego osiągający duże wzmocnienie i pracujący często w konfiguracjach ze sprzężeniem zwrotnym. Posiada on wejście różnicowe (symetryczne) oraz wyjście asymetryczne (istnieją także wzmacniacze z wyjściem symetrycznym). Mają one również dwie końcówki zasilania, których nie rysuje się na schematach, ale trzeba o nich pamiętać [2].

Napięcie zasilające jest oznaczane zazwyczaj jako VCC (dodatnie napięcie zasilania) oraz VEE (ujemne napięcie zasilania). Napięcia mogą osiągać wartości dodatnie oraz ujemne względem masy, lecz trzeba pamiętać, że napięcie wyjściowe nie może wyjść poza zakres napięcia zasilającego i jest w większości przypadków mniejsze niż całkowite napięcie zasilania [2]. Wzmacniacz posiada również jedno wyjście. Obudowy wzmacniaczy

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, tomasz.wawrzak@pollub.edu.pl

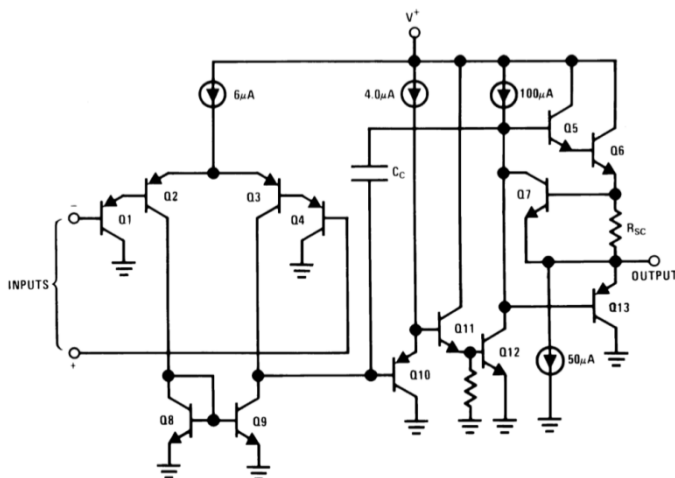
operacyjnych są ściśle znormalizowane i występują w obudowach typu DIL w układach pojedynczych, podwójnych oraz poczwórnych. [4]



Rys. 1. Schemat wzmacniacza operacyjnego

Obecnie często stosowanymi obudowami wzmacniaczy operacyjnych są obudowy typu SMD, zaletą tych obudów jest łatwość montażu i możliwość jego automatyzacji, a także duża gęstość umieszczonych urządzeń, a co za tym idzie miniaturyzacja układów [3].

Wzmacniacze pracujące w konfiguracjach z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego posiadają bardzo duże wzmocnienie różnicowe rzędu nawet setek tysięcy. Tego typu układy wykorzystywane są jako komparatory, czyli układy służące do porównywania dwóch sygnałów wejściowych i dawania odpowiedzi w postaci sygnału wyjściowego osiągającego dodatni lub ujemny biegun zasilania (zależnie od wzajemnej relacji napięć wejściowych) [3]. Na rysunku drugim pokazany jest schemat wewnętrzny wzmacniacza operacyjnego LM358 użytego to konstrukcji projektowanego stanowiska laboratoryjnego.



Rys. 2. Schemat wewnętrzny wzmacniacza operacyjnego LM358 [16]

PARAMETRY IDEALNEGO WZMACNIACZA OPERACYJNEGO

Wzmacniacz operacyjny zawiera w sobie tranzystory bipolarne, JFET lub MOSFET. Idealny wzmacniacz operacyjny charakteryzuje się następującymi parametrami:

- prądy wejściowe równe zeru, czyli brak prądu płynącego przez wejścia, a więc impedancja wejściowa jest nieskończenie duża,
- różnicowe wzmocnienie napięciowe powinno być nieskończone,
- napięcie niezrównoważenia równe zeru,
- impedancja wyjściowa powinna być zerowa, a więc powinien posiadać nieograniczoną wydajność prądową wyjścia,
- układ powinien reagować bez zwłoki czasowej na impulsy napięcia, a więc układ powinien być nieskończenie szybki, a jego pasmo przenoszenia powinno być nieskończenie szerokie,
- prąd pobierany ze źródła zasilania powinien być równy 0, tak więc wzmacniacz nie powinien powodować strat mocy.

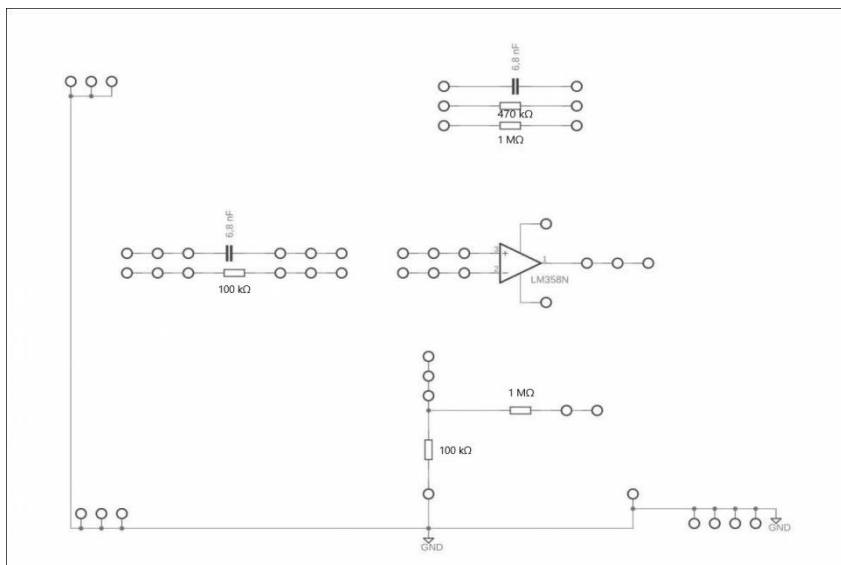
Jak wiadomo rzeczywiste elementy często mocno różnią się od ich idealnych odpowiedników. Nowoczesne wzmacniacze operacyjne posiadają parametry bardzo zbliżone parametrom idealnym wymienionym wyżej [1].

Przykładowo, w obwodach wejściowych płyną prądy, ale są one rzędu nA, a nawet pA, więc często można je pominąć w obliczeniach. Rezystancja wejściowa nie jest nieskończona, ale zazwyczaj osiąga wartości większe od 1 M Ω , a często dziesiątki i nawet setki megaomów. Wzmocnienie nie jest nieskończone, ale zwykle osiąga wartości rzędu setek tysięcy razy, a nawet więcej. Rezystancja wyjściowa nie jest równa zeru, ale pozwala ona na dość dobrą wydajność prądową rzędu kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu miliamperów [3].

PROJEKT STANOWISKA POMIAROWEGO

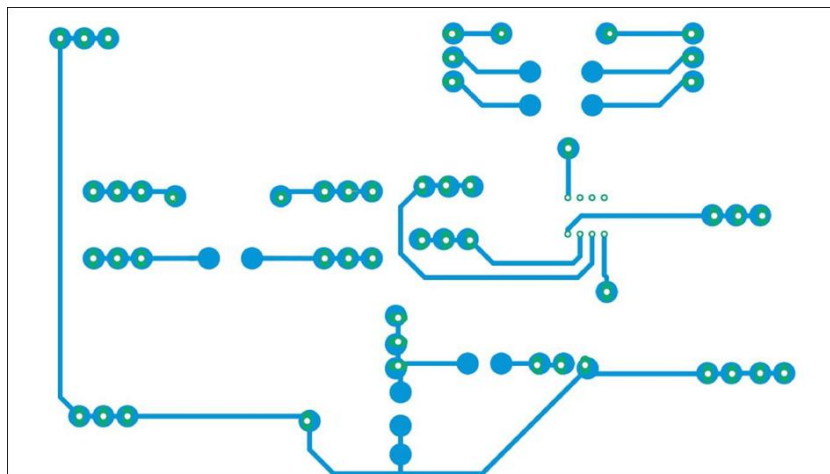
Jednym z podstawowych założeń stawianych przy budowie stanowiska pomiarowego była możliwość wybrania dowolnej konfiguracji pracy testowanego wzmacniacza operacyjnego, a także szerokiej modyfikacji układu za pomocą dołączania zewnętrznych komponentów elektronicznych (RC).

Proces projektowania płytki drukowanej przeprowadzony został za pomocą programu Eagle, pozwalającego na intuicyjną pracę oraz optymalizację rozkładu ścieżek. Schemat zawiera symbol wzmacniacza operacyjnego, oraz odpowiednią ilość rezystorów i kondensatorów ułożonych w taki sposób, aby miało to swoje odwzorowanie na płycie czołowej stanowiska. W przeciwieństwie do rozwiązań komercyjnych, schemat nie został pomniejszony w celu ograniczenia materiałów. Ma to na celu zapewnienie jak największej przejrzystości układu oraz pozostawienie miejsca na ewentualne dolutowanie elementów. Schemat elektryczny płytki został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat elektrycznych połączeń płytki PCB

Następnie schemat połączeń elektrycznych z rysunku 3 został przeniesiony do części programu Autorouter, gdzie poszczególne wyprowadzenia zostały ułożone w odpowiednich miejscach, a między nimi zostały poprowadzone ścieżki. Ścieżki zostały zaprojektowane ręcznie, możliwie najkrótszą i bezkolizyjną drogą (Rys. 4).



Rys. 4. Schemat ścieżek naniesionych na płytkę PCB

Następnym etapem po zaprojektowaniu ścieżek jest zapisanie schematu w postaci pliku graficznego i wydrukowanie go w lustrzanym odbiciu na drukarce laserowej. Budowę stanowiska oparto o laminat jednostronny o grubości 1,5mm, uprzednio docięty do rozmiarów stanowiska. Zostały one wyznaczona na 178x99 mm tak by na płycie nie zostało zbyt dużo wolnego miejsca, jednak żeby całe stanowisko było czytelne. Wszystkie nierówne krawędzie zostały zeszlifowane, żeby uniknąć skaleczeń podczas montażu dalszych elementów. Następnie płytka została umyta oraz odłuszczona za pomocą rozcieńczalnika. Schemat ścieżek elektrycznych na płytkę został naniesiony dzięki metodzie termotransferu, która polega na nałożeniu wydrukowanego laminatu w odpowiedniej pozycji, i podgrzaniu płytki do temperatury około 150°C. Wymagana temperatura została osiągnięta przez kilkuminutowe prasowanie żelazkiem powierzchni laminatu. Kolejnym etapem tworzenia płytki PCB było namoczenie laminatu z papierem w wodzie, w celu usunięcia resztek papieru. Dalej płytka została wytrawiona tj. zanurzona na 6 min. w wytrawiaczu podgrzany do temperatury 40°C. Następnie płytka została wyjęta z roztworu i oczyszczona pod bieżącą wodą oraz wytarte zostały resztki tonera.

Po wytrawieniu przeprowadzono badania ciągłości ścieżek przy użyciu multimetru cyfrowego, tak by mieć pewność, że ścieżki nie mają przerw oraz, że nie są one ze sobą zwarte w niepotrzebnych miejscach.

Tak przygotowana płytka była gotowa do montażu przewlekanych elementów. Należało przewiercić płytkę w miejscach wlotowywania elementów wiertłem o średnicy 1,5 mm. Następnie elementy zostały przewlekane i przylutowane za pomocą stopu cyny.

Po przylutowaniu wszystkich elementów ścieżki zostały w odpowiednich miejscach przewiercone, tak, aby można było zamontować wyprowadzenia przewodów do podłączenia zasilania, oscyloskopu oraz łączenia ze sobą poszczególnych części obwodu. Przewody zostały docięte, a ich końcówki zostały pokryte niewielką ilością cyny. Przylutowano je do płytki, a na ich końcach zamontowano żeńskie gniazda bananowe, które zostaną przymontowane do obudowy.

Na powyższym stanowisku jest możliwość łączenia wzmacniacza operacyjnego w następujących układach pracy:

- wtórnik napięcia,
- wzmacniacz nieodwracający,
- wzmacniacz odwracający,
- układ różniczkujący,
- układ całkujący,
- układ sumujący,
- komparator.



Rys. 5. Widok stanowiska po przylutowaniu żeńskich gniazd bananowych

Ponadto znaczna ilość dodatkowych wejść bananowych pozwala na dołączenie zewnętrznych kondensatorów lub rezystorów dekadowych co pozwala na łatwą modyfikację układu.

PODSUMOWANIE

Przedstawione stanowisko laboratoryjne do badania wzmacniaczy operacyjnych jest łatwą w rozbudowie i modernizacji strukturą dzięki której studenci będą mogli poznać oraz zobaczyć podstawowe zasady panujące w elektrotechnice oraz elektronice.

Studenci będą mogli w łatwy sposób tworzyć nowe układy pracy wzmacniaczy, a prowadzący po przez dodawanie nowych zewnętrznych elementów sprzężenia RC będą mieli możliwość prostej zmiany parametrów układu.

Elementy układu sprzężenia zwrotnego mają decydujący wpływ na parametry badanego układu, gdyż to przez ich stosunek określa się wzmacnienie oraz pasmo przenoszenia. Dzięki prostym zmianą schematu prowadzący może kontrolować jakość dostarczanych przez studentów sprawozdań.

Do budowy stanowiska użyto łatwo dostępnych oraz niedrogich części dzięki czemu w razie ewentualnej awarii możliwa będzie ich szybka wymiana.

LITERATURA

- [1] Barna A., *Wzmacniacze operacyjne*. WNT, Warszawa, 1974
- [2] Golde W., Śliwa L., *Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania cz. 1*, WNT, Warszawa, 1982
- [3] Górecki P., *Wzmacniacze operacyjne*, Wydawnictwo BTC, 2002

- [4] Kulka Z., Nadachowski M., *Zastosowania wzmacniaczy operacyjnych*, WNT, Warszawa, 1986
- [5] <https://elektronikab2b.pl/technika/3695-wzmacniacze-operacyjne-w-ukladach-w.cz.>, zasoby z dnia 20.11.2018 r.
- [6] <http://elektron.pol.lublin.pl/keo/dydaktyk/Ins/Cw07pdf.pdf> , zasoby z dnia 20.01.2019 r.
- [7] <https://ea.elportal.pl/wzmoper.html> , zasoby z dnia 05.06.2019 r.

METODY TRANSMISJI DANYCH ZE SZCZEGÓLNYM OMÓWIENIEM BUDOWY ŚWIATŁOWODOWYCH LINII NAPOWIETRZNYCH NA PODBUDOWIE SŁUPOWEJ SIECI ENERGETYCZNEJ

WSTĘP

Od dziesięcioleci uczeni próbowali odnaleźć sposoby na transmisję danych na znaczne odległości. Początkowo była to ustna oraz umowna (poprzez sygnalizację) forma przekazywania danych która stopniowo przekształcała się na pisemne formy przekazu. Ograniczeniem transmisji stał się czas ponieważ nawet wiadomość zawartą na papierze trzeba było w jakiś sposób dostarczyć i odebrać. W związku z chęcią oszczędzenia czasu oraz z aspektami finansowymi wynikała potrzeba wynalezienia urządzenia które spełniło by oczekiwania. Początkowo było to przekazywanie zakodowanych znaków pisma poprzez telegrafię, dźwięków przez telefonię. Wraz z rozwojem wszelkiego rodzaju maszyn matematycznych zwanych komputerami, z końcem XX wieku zaczęto wprowadzać sieć która umożliwiała by transmisję danych między użytkownikami jednej sieci. Stopniowo sieć ta rozrosła się na tyle, że umożliwiła wymianę informacji na całym świecie.

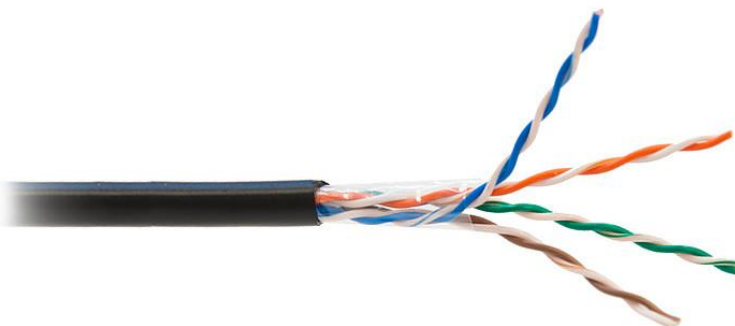
PIERWSZE SIECI TRANSMISJI DANYCH

Początkowo fizycznie realizowano taką sieć przy pomocy miedzianych przewodów w technologii skrętki. Skrętka jest przewodem służącym w telekomunikacji do przesyłania informacji. Zbudowana jest ona z jednej lub kilku par skręconych ze sobą przewodów. Dzięki takiemu rozwiązaniu eliminowany jest wpływ zakłóceń wzajemnych (przesłuchy) oraz wpływ zakłóceń elektromagnetycznych. Skręcenie żył jest również spowodowane koniecznością zawężenia pasma transmisyjnego.

Skrętka jest obecnie najtańszą formą transmisji danych w sieci. Technologia wykonania tych kabli może być dwojaka: skrętka posiadająca ekranowanie foliowe (FTP) lub ekranowanie w postaci metalowego opłotu (STP). Ekranowanie służy do zmniejszenia strat transmisji danych oraz zwiększa odporność na zakłócenia. Taka forma wykonania wykorzystywana jest przeważnie w przypadku budowy sieci w miejscach, gdzie istnieją znaczne zakłócenia które zagrażają prawidłowej pracy urządzeń pracujących w sieci.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, piotr.sawicki1@pollub.edu.pl

Najpowszechniejszą formę wykonania stanowią kable nieekranowane UTP. Przykładowa skrętka przedstawiona została na rysunku 1.



Rys. 1. Skrętka ekranowana folią (F/UTP) 4-parowa

ROZWÓJ SIECI TRANSMISJI DANYCH

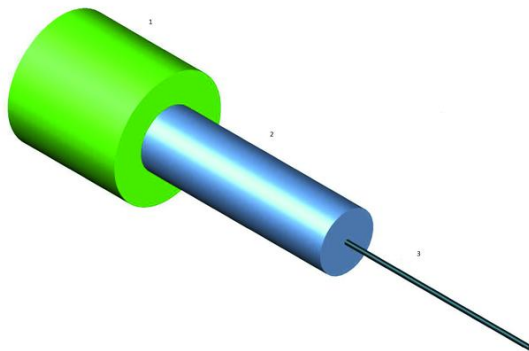
Niestety z biegiem lat transmisja danych, poprzez przepływ prądu elektrycznego w przewodach miedzianych okazała się zbyt mała w stosunku do rosnących rozmiarów informacji przesyłanych w sieci. Usługi telekomunikacyjne wykazały potrzebę na znalezienie sposobu na przesyłanie dużych ilości informacji. Współczesne motywacja stworzenia takiej sieci bazowała na:

- internetowych usługach telewizyjnych (IPTV),
- telefonii, radiofonii oraz wizjotelefonii,
- telewizji (HDTV),
- poczty elektronicznej,
- serwisów społecznych,
- dystrybucji oprogramowania,
- wymiany plików pomiędzy użytkownikami,
- handlu internetowego.

Powyższe usługi wymagają stałego dostępu do sieci na poziomie 10 Mbit/s, zaś w przypadku wymiany danych oraz usług HDTV ponad 50 Mbit/s.

Wymaganiom współczesnych użytkowników jest w stanie sprostać światłowód. Jest to przezroczysta zamknięta złożona struktura, składająca się z rdzenia, powłoki ochronnej oraz płaszczu światłowodu (Rys. 2). Elementy te posiadają różne współczynniki załamania światła. Powłokę ochronną stanowi materiał termoplastyczny który ma za zadanie zapobiegać wszelkim uszkodzeniom płaszczu. Rdzeń ma największy współczynnik załamania światła który powoduje całkowite wewnętrzne odbicie światła od płaszczyzny rdzenia. Światłowody oprócz zastosowania telekomunikacyjnego posiada szereg celów użytkowych celów takich jak:

- medycyna (technika endoskopowa),
- optoelektronika,
- elektroenergetyka.



Rys. 2. Budowa włókna światłowodowego

Światłowodowa transmisja danych realizowana jest przy pomocy modulowanej fali świetlnej, której źródłem jest np. światło pochodzące z diody LED. Rozwiązanie to umożliwia niezwykle szybką transmisję danych na poziomie od 1 do 4 Tb/s. W przypadku światłowodów z zastosowaniem medium transmisyjnego w postaci powietrza, transfer danych osiąga nawet 70 Tb/s. Dzięki temu nowoczesne szerokopasmowe sieci telekomunikacyjne stanowią jeden z najważniejszych współczesnych elementów infrastruktury technicznej państwa budującego gospodarkę opartą o wiedzę epoki globalizacji i informatyzacji.

RODZAJE SIECI ŚWIATŁOWODOWYCH

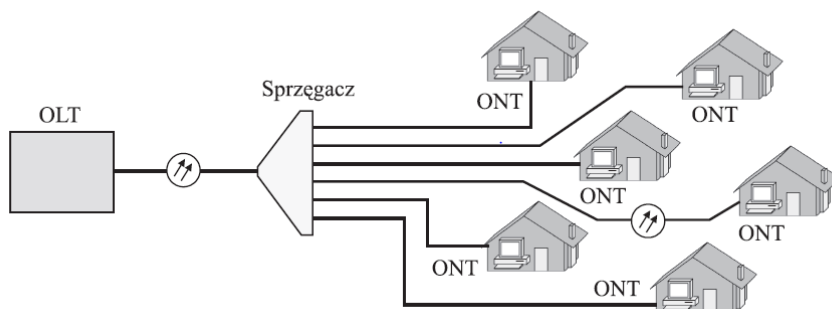
Obecnie w Polsce szerokopasmowe sieci określone mianem FTTx dotyczą grupy technik dostępowych wykorzystujących włókna światłowodowe jako medium transmisyjne takich jak:

- FTTH (*Fiber To The Home*) – światłowód do domu,
- FTTB (*Fiber to Building*) – światłowód do budynku,
- FTTM (*Fiber To The Multi-Dwelling Unit*) – światłowód do budynku wielorodzinnego.

Wymienione powyżej grupy to tylko niewielka, interesująca część całościowego podziału systemów światłowodowych. Wiele z nich stanowi gigabitowy dostęp sieciowy o skali przemysłowej.

W dużej mierze w Polsce stosowane są sieci FTTH. Jest to sieć pracująca z pasywnym rozgałęzieniem włókien światłowodowych w której, jako medium do przekazywania danych, wykorzystuje się światłowód jednomodowy. Sieć

FTTH pracująca z pasywnym rozgałęzieniem określana jest mianem PON (z ang. *Passive Optical Network*). Topologię sieci PON przedstawiono na Rys. 3, „Centrala” skąd wychodzi sieć nazywana jest mianem OLT (*Optical Line Termination*), jest to rodzaj urządzenia dystrybucyjnego. Kolejnym składnikiem PON są urządzenia zakańczające sieć optyczną u odbiorców zwana w skrócie ONT (*Optical Network Termination*). Transmisja danych jest dzielona między odbiorcami w zależności od standardu. Najczęściej jest to podział splitera równy 1:32. Standardy akceptują podział z zakresu od 1:16 do 1:128. Dzięki braku urządzeń aktywnych wyeliminowano problemy wynikające z braku zasilania oraz problemy z ich zawodnością. Rozgałęzienia ograniczają koszty instalacji poprzez krótsze odcinki kabli oraz liczby włókien. Są one realizowane przy pomocy tzw. spliterów (inaczej sprzęgaczy) wprowadzających znaczne tłumienie sięgające 20 dB.



Rys. 3. Struktura sieci PON

Do zasilania sieci FTTH używane są różne rodzaje kabli, głównie są to trzy podstawowe typy:

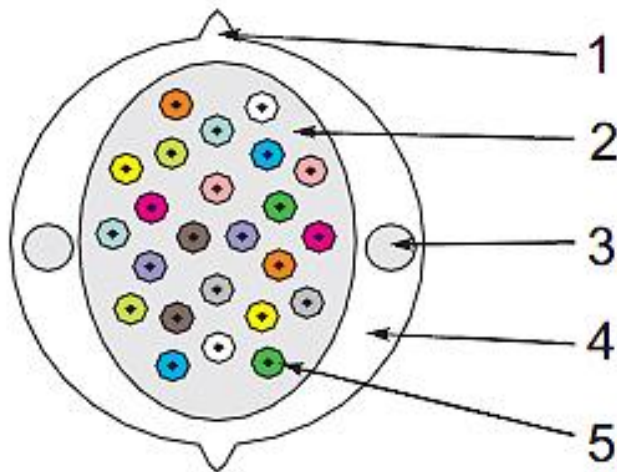
- kable łatwego dostępu KDM,
- kable typu breakout,
- mikrorurki.

Kable łatwego dostępu typu KDM są najbardziej uniwersalną i elastyczną metodą doprowadzania światłowodów do mieszkań w budynkach jednorodzinnych. Instalacja taka uwzględnia ułożenie kabla w pionie.

Kabel (Rys. 4) składa się z:

- wskaźnika cięcia okna w powłoce kabla,
- luźnej tuby w połowie wypełnionej włóknami,
- prętu aramidowego,
- powłoki LSZH,
- włókna światłowodowego w powłoce ochronnej.

Wykonanie takiego kabla jest wieloetapowe. Kolejność prac może przebiegać następująco: ułożenie kabla, ułożenie tub osłonowych, wyciąganie oraz przeciąganie włókien do mieszkań które są objęte montażem by na końcu kabel zakończyć spawem wraz z pigtailem.



Rys. 4. Budowa kabla łatwego dostępu

SIEĆ FTTH NA PODBUDOWIE SŁUPOWEJ SIECI ENERGETYCZNEJ

Wykonanie sieci FTTH w kanalizacji pierwotnej na chwilę obecną nie stanowi większych problemów. Na rynku istnieje kilku operatorów dystrybuujących swoje usługi. W związku z tym firmy te muszą korzystać ze swoich sieci lub z obcych tras kablowych które zostają użyczone przez innych operatorów. Trasy światłowodowe są najczęściej układane w istniejących trasach telekomunikacyjnych, zaś rozgałęzienia wykonywane są w studniach kablowych. O ile w dużych aglomeracjach wykonanie takiej sieci nie stanowi istotnego problemu, o tyle w terenach pozamiejskich może stworzyć to pewne komplikacje. Wynika to z braku istniejących tras kablowych oraz wystarczającej liczby studni. Istniejące miedziane linie telekomunikacyjne były wykonywane poprzez układanie przewodu w wykopie bez dodatkowych zabezpieczeń. Wobec tego należało wymyślić sposób realizacji tych sieci.

Rozwiązanie okazuje się niezwykle proste. Z końcem lat 50. ubiegłego wieku, zarządzono powszechną elektryfikację wsi. Dzięki temu wydarzeniu, chyba obecnie nie ma takiego miejsca (lub jest ich niewielki odsetek) w którym nie było by elektroenergetycznych sieci niskiego i średniego napięcia. Energia elektryczna z dużych aglomeracji jest dostarczana do małych aglomeracji liniami średniego napięcia. Następnie napięcie to zostaje obniżone do wartości napięć niskich. Na tym poziomie energia elektryczna jest dostarczana do odbiorców przy pomocy linii kablowych nN. Analogicznie istnieje możliwość

tworzenia sieci światłowodowej w sposób napowietrzny. Z dużych aglomeracji sieć byłaby poprowadzona na podbudowie linii napowietrznych średniego napięcia, następnie słupami niskiego napięcia by na ostatnim odcinku, np. we wsiach stworzyć niewielką kanalizację pierwotną w której światłowody mogłyby być zainstalowane tak jak w przypadku sieci miejskiej.

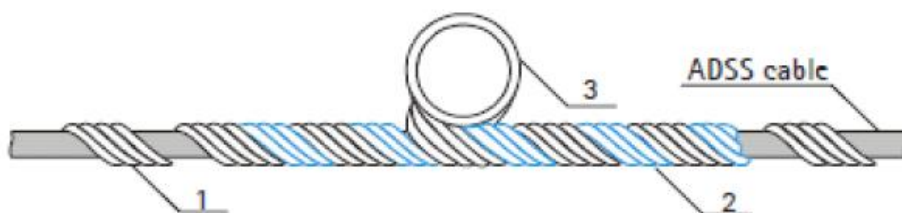
Realizacja napowietrznej sieci światłowodowej wymaga osprzętu mechanicznego. Jednym z ważniejszych warunków do realizacji tego zadania jest nienaganny stan istniejących słupów SN i nN. W zależności od typu użytego kabla, rodzaju słupów, długości przęseł, przy budowie sieci światłowodowej na podbudowie słupowej należy dla projektowanego kabla dobrać komponenty osprzętu mechanicznego według następujących parametrów:

- rozstaw słupów oraz ich liczbę,
- konstrukcję słupów,
- dopuszczalne obciążenie słupów,
- przekrój kabla światłowodowego.

Aby w sposób właściwy wybudować sieć światłowodową, niezbędne są pewne elementy systemu:

- zawiesie przelotowe,
- elementy naciągające,
- uchwyty mocujące,
- tłumiki drgań.

Kable światłowodowe z reguły potrzebują elementu nośnego który będzie je podtrzymywał umożliwiając jednocześnie odpowiedni naciąg, są to tzw. zawiesie (Rys. 5). Składa się on z (1) spiralnego mocowania, (2) pręta wsporczo oraz (3) pierścienia.



Rys. 5. Wygląd zawiesia kablowego przelotowego

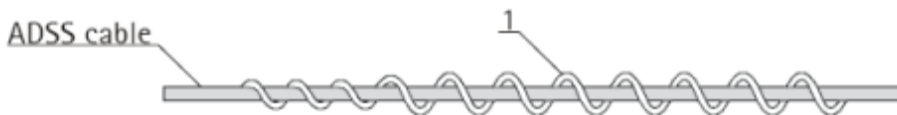
Do zawiesi należy dobrać również odpowiedni kabel światłowodowy. Najczęściej stosowane kable, to kable ADSS (ang. *All Dielectric Self Support*). Nie zawierają one elementów przewodzących prąd elektryczny, jednocześnie wytrzymałość mechaniczna jest na tyle wystarczająca by można je było rozwieszać między słupami bez instalacji dodatkowych linek nośnych. Kable takie można rozwieszać na przęsłach o długości dochodzącej do 200 m.

Kolejnym ważnym komponentem są elementy naprężające (zaciski naciągające). Instaluje je się na końcach linii umożliwiając ich odpowiedni odciąg (Rys. 6). Powinien on być dobrany do średnicy kabla do którego ma zostać przeznaczony. W przeciwnym wypadku może on za bardzo ścisnąć kabel lub niewystarczająco go trzymać, co może powodować zakłócenia. Większość elementów naprężających potrzebuje instalacji odpowiedniego wspornika, tak aby można było bezpiecznie zamontować go na słupie. Przy doborze zarówno wspornika jak i naprężenia należy pamiętać o pełnej funkcjonalności jak też o wytrzymałości oraz o tzw. „minimalnej sile zrywania” która jest dobrana też, że w awaryjnych sytuacjach zawiesz musi zostać zerwany w taki sposób, aby kabel został nieuszkodzony.



Rys. 6. Mocowanie naprężające kabla ADSS

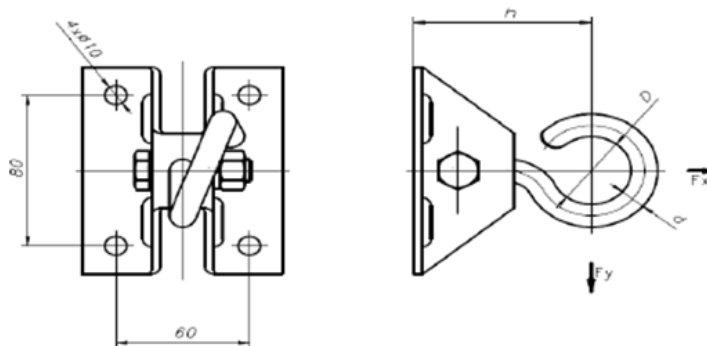
Tłumiki drgań (Rys. 7) stanowią jeden z ważniejszych elementów osprzętu napowietrznej sieci światłowodowej. Ich zadanie jest dość trywialne, za to niezmiernie ważne. Polega ono na redukcji drgań powstałych w wyniku np. ruchu powietrza. Są one obowiązkowe w przypadku rozpiętości przeseł większej od 80 m. Dla sieci o rozpiętości przeseł większej niż 120 m zalecany jest montaż co najmniej dwóch przeseł.



Rys. 7. Tłumik drgań

Ostatnim niezbędnym elementem do budowy linii światłowodowych napowietrznych są uchwyty. Przykład uchwyty ukazano na Rys. 8. Służą one do umocowania elementów systemu zawiesi do słupów z wykorzystaniem taśm stalowych oraz napinających ją śrub.

Eksploatacja sieci światłowodowej wybudowanej w technologii napowietrznej wymaga jedynie poprawnego utrzymania sprawności tak jak w przypadku sieci energetycznych. Należy przeprowadzać działania prewencyjne mające na celu bieżące usuwanie awarii oraz uszkodzeń. Należy również dokonywać okresowych pomiarów kontrolnych linii światłowodowych oraz stanu przeglądów linii.



Rys. 8. Uchwyt mocowań naprężających

Przykładowe wykonanie linii światłowodowej przedstawiono na Rys. 9. Przedstawiono tam poszczególne elementy systemu linii światłowodowej opisane powyżej.



Rys. 9. Przykładowe wykonanie sieci światłowodowej na podbudowie istniejącego słupa linii średniego napięcia

PODSUMOWANIE

Na obecną chwilę w Polsce istnieje kilkadziesiąt napowietrznych linii światłowodowych na podbudowie istniejących słupów. Za budowę linii światłowodowych przemawia bardzo wysoka przepustowość transmisji danych

pojedynczego włókna, niewielka tłumienność sygnału nawet przy bardzo dużych odległościach, niewielkie wymiary oraz wyjątkową odporność na zakłócenia radioelektryczne i działanie pola elektrycznego. W stosunku do skrętki światłowodów wygrywa na bardzo wielu płaszczyznach.

W przypadku budowy linii światłowodowych napowietrznych na podbudowie istniejących słupów, jest to sposób dużo wygodniejszy ze względu na możliwość przeprowadzanie łatwych działań prewencyjnych, modernizacyjnych oraz usuwania awarii i uszkodzeń ze względu na bardzo dobry dostęp. Kolejną zaletą jest niewielki koszt budowy oraz utrzymania tego typu sieci. Ostatnim i najważniejszym aspektem przy wykonaniu, jest wykorzystanie istniejących słupów niskiego i średniego napięcia co umożliwia transmisję danych na znaczne odległości bez potrzeby budowy kanalizacji pierwotnych oraz studni poza terenem zabudowanym.

LITERATURA

- [1] AllWave FLEX Zero WaterPeakFiber. OFS Furukawa, 2007
- [2] *Bitstorm-HP-160 VDSL2 High Performance IP-DSLAM*. Zhone Technologies Inc., 09.2007
- [3] *ClearCurve™ Compact Drop Cable Product Specifications EVO-761-EN*. Corning Cable Systems, September 2007
- [4] *CorningClearCurve Optical Fiber*. Corning Inc., September 2007
- [5] *Corning SMF-28e XB Optical Fiber*. Corning, May 2007 (karta katalogowa PI1462)
- [6] DC-1 Drop Cable. Fujikura Ltd., 2003
- [7] Duszak M., Olender-Skorek M., Bartoszewska B., *Wielkość rynku telefonii stacjonarnej i zmiany jego struktury*, Przegląd Telekomunikacyjny, 2007, nr 11, 928–931
- [8] *ERG Opinion on Regulatory Principles of NGA*, ERG(07) Rev. 2, May 2007
- [9] *FTTH Council – Definition of Terms*. FTTH Council, August 2006
- [10] George J., Mazzaresse D., *Video – optimized fiber is all about the bends*
- [11] Kuch, Sękowski, Taczanowska-Wileńska, *Prawne, techniczne i ekonomiczne aspekty budowy linii światłowodowych na podbudowie słupowej sieci energetycznej*
- [12] Materiały reklamowe firmy OPTOMER na dzień 29.05.2019
- [13] Materiały reklamowe firmy INTECH na dzień 29.05.2019

PROJEKT ŹRÓDŁA PRĄDOWEGO DUŻEJ MOCY W TOPOLOGII WIELOFAZOWEJ PRZETWORNICY OBNIŻAJĄCEJ NAPIĘCIE

WSTĘP

Największym z współczesnych wyzwań stawianych w świecie techniki jest energetyka odnawialna. Energia elektryczna produkowana poprzez panele fotowoltaiczne, jak i turbiny wiatrowe, wymaga dużych nakładów technicznych, ale najczęstszym wskazywanym problemem jest jej okresowość. Rozwiązaniem tego problemu może być jedynie gromadzenie oraz magazynowanie wyprodukowanej energii elektrycznej, a następnie przekazywanie jej podczas zapotrzebowania.

Energia elektryczna do tej pory była gromadzona w akumulatorach kwasowych. Najnowsze konstrukcje oparte są o akumulatory litowo-jonowe oraz coraz prężniej wprowadzane technologie superkondensatorów. Wszystkie magazyny energii przedstawione powyżej łączy wspólny mianownik, a mianowicie obniżenie rezystancji wewnętrznej. Oznacza to możliwość szybszego ładowania/rozładowywania ogniwo oraz mniejsze straty związane z przepływem prądu.

Obniżenie rezystancji wewnętrznej odbiornika energii oraz wzrost pojemności oznacza nowe strategie ładowania. Podstawowym elementem układu ładowania staje się źródło prądowe limitujące przepływ prądu przez pakiet ładowanych akumulatorów/superkondensatorów. Jednym z rozwiązań może być przetwornica wielofazowa jako źródło prądowe dużej mocy.

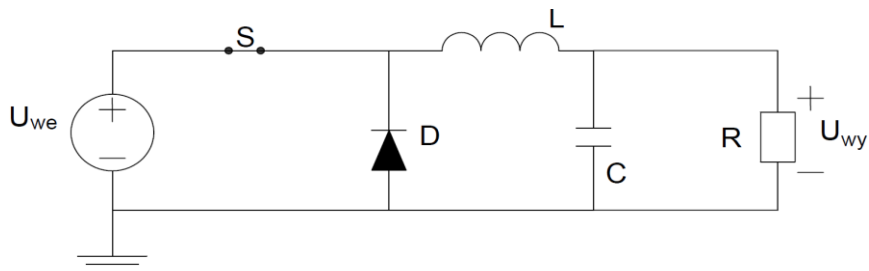
ŹRÓDŁO PRĄDOWE Z WYKORZYSTANIEM PRZETWORNICY OBNIŻAJĄCEJ NAPIĘCIE (STEP-DOWN)

Źródło prądowe jest elementem aktywnym obwodu, którego zadaniem jest umożliwienie przepływu prądu stałego o stałej umownej wartości, niezależnie od rezystancji obciążenia. Źródła prądowe wykorzystywane są w układach, które wymagają stałego w czasie natężenia prądu bez względu na przyłączone do nich obciążenie [1].

Przetwornica obniżająca napięcie (ang. *step-down*), gdzie od napięcia zasilania odejmuje się napięcie indukowane na cewce. Jest to układ przekazujący energię którego wejście nie jest odizolowane od wyjścia. Elementami wchodzącymi w skład tej przetwornicy to elementy przełączające

¹Politechnika Lubelska, WEiI, michal.marcinkowski@pollub.edu.pl

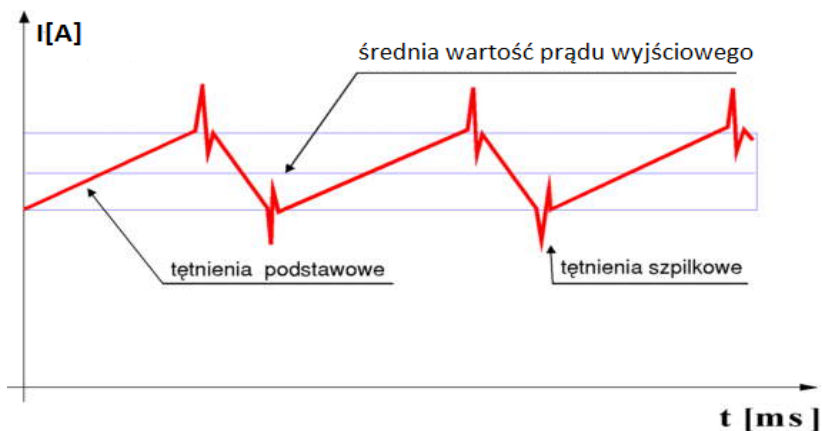
najczęściej tranzystory, umożliwiające wymianę energii między źródłem wyjściem a zasilaniem układu oraz dioda, która pozwala na przepływ energii w czasie wyłączenia przełącznika oraz działa w kierunku zaporowym w stanie załączonego tranzystora.



Rys. 1. Schemat układu przetwornicy obniżającej napięcie (step-down) [3]

Rysunek 1 przedstawia układ przetwornicy obniżającej napięcie, gdzie rolę elementu przełączającego S stanowi tranzystor, dodatkowymi elementami wchodzącymi w skład układu jest kondensator, cewka indukcyjna oraz dioda półprzewodnikowa. W momencie, gdy przełącznik jest zamknięty i pozwala na przepływ energii pobieranej ze źródła zasilania ładowany jest kondensator poprzez dławik ograniczający prąd. Tranzystor, który w tym obwodzie jest elementem kluczującym, sterowany jest za pomocą impulsów PWM, które wymuszają na załączenie lub wyłączenie klucza. Współczynnik wypełnienia impulsów określa czas z jakim powinien utrzymać się stan załączenia tranzystora. Czas załączenia jest dłuższy im ten współczynnik jest większy. W momencie przejścia w stan wyłączenia tranzystora kondensator przekazuje zgromadzoną energię do obwodu, przepływ tej energii umożliwia dioda zwrotna. Prąd płynący w tym momencie indukuje napięcie na cewce, które próbuje podtrzymać prąd w cewce (tzw. zjawisko samoindukcji). Gdy napięcie na wyjściu spadnie poniżej wartości zadanej, klucz tranzystorowy ponownie jest załączany [2].

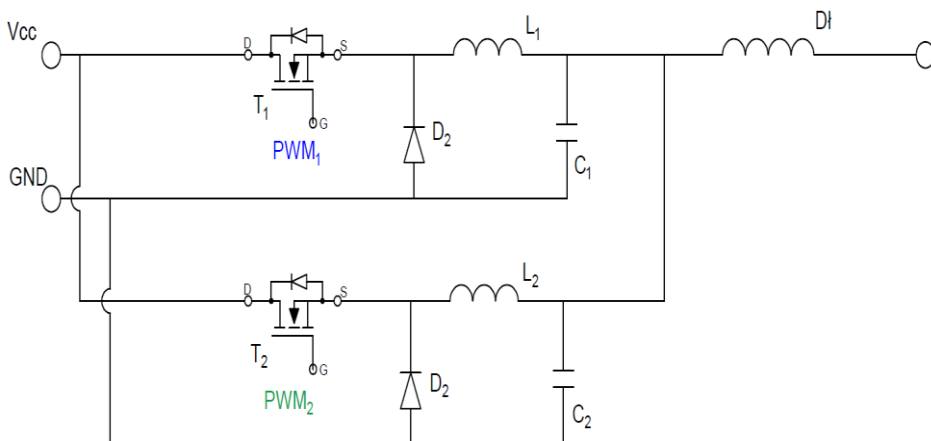
Przetwornice step-down są wysokosprawnymi układami co przekłada się na niewielkie straty mocy w elementach układu. Sprawności takich układów wynoszą ok. 90% i więcej. W układach tych mogą występować problemy w postaci tętnień (Rys. 2) z powodu cyklicznego ładowania cewek prądem. Odpowiedzią na takie problemy są układy filtrujące, możliwie najprostszym filtrem jest kondensator, który filtruje tętnienia oraz utrzymuje stałe napięcie wyjściowe [4].



Rys. 2. Przebieg prądu wyjściowego przetwornicy obniżającej napięcie z tętnieniami [4]

PRZETWORNICA OBNIŻAJĄCA NAPIĘCIE WIELOFAZOWA (MULTIPHASE STEP-DOWN)

Istnieje także możliwość stworzenia układu przetwornic obniżających napięcie wielofazowych poprzez połączenie równoległe kilku przetwornic. Taki układ złożony jest z kilku konwerterów, gdzie każdy pracuje w odgórnie przypisanym kawałku cyklu. Przypisanie odpowiedniego fragmentu cyklu oznacza konieczność współpracy wszystkich gałęzi, a praca kilku gałęzi w tym samym momencie cyklu jest zabroniona. Klucze tranzystorowe wzbudzone są za pomocą impulsów PWM lub inną metodą modulacyjną sygnałów [2].

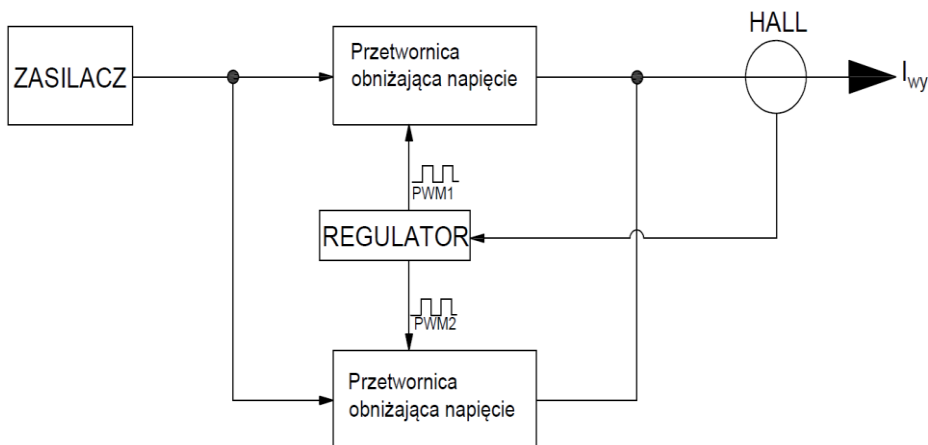


Rys. 3. Schemat elektryczny przetwornicy obniżającej napięcie wielofazowej [3]

Zasada działania jest analogiczna jak w jednofazowej przetwornicy step-down z tą różnicą, że każda gałąź załączana jest w odpowiednim momencie oraz w odpowiedniej kolejności. Manewr ten ma na celu załączenie tranzystora sygnałem PWM w momencie, którym sygnał zasilający osiąga zadaną wartość a podczas obniżania się sygnału klucz ten przechodzi w stan wyłączenia i następuje załączenie następnej gałęzi obwodu. Podczas przepływu energii kondensator pobiera energię z układu i podczas odłączenia zasilania gałęzi energia zostaje oddana i wytracana na indukowaniu napięcia na cewce, co skutkuje spadkiem napięcia w obwodzie [2].

PROJEKT UKŁADU STEROWANIA

Przetwornica wielofazowa step-down to układ składający się z takich elementów jak: tranzystor unipolarny, cewki indukcyjne, dioda zwrotna, kondensator. Schemat blokowy proponowanej konstrukcji przedstawiony został na poniższym rysunku.

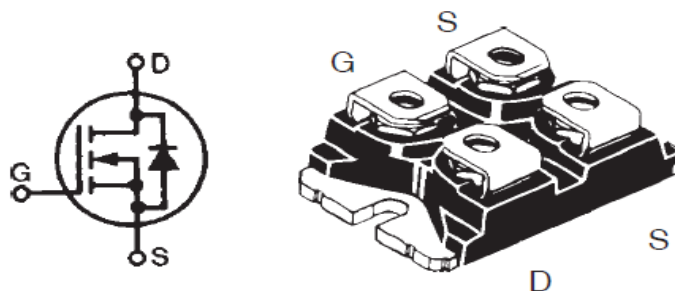


Rys. 4. Schemat blokowy źródła prądowego dużej mocy [3]

W układzie znajdują się również podzespoły, które wymuszają prądową regulację w źródle prądowym. Elementy takie jak dioda oraz tranzystor zostały wyznaczone na podstawie kart katalogowych, natomiast indukcyjność wyznaczona została za pomocą gotowego kalkulatora internetowego. Za cały proces sterowania kluczowaniem tranzystorów oraz regulacji prądu będzie moduł STM32L053 Nucleo-64.

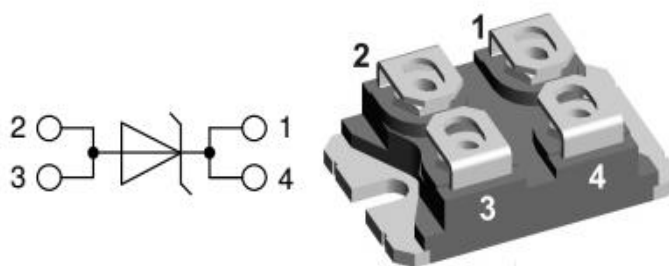
Na element przełączający został wybrany tranzystor polowy typu MOSFET o numerze katalogowym IXFN520N075T2, jest to tranzystor *n*-kanałowy dużej mocy z szybkim przełączeniem. Jego największym atutem jest bardzo niska rezystancja włączonego kanału $R_{DS(ON)} \leq 1,9 \text{ m}\Omega$, co przekłada się na bardzo małe straty podczas kluczowania tranzystora. Czasy załączania i wyłączenia

w warunkach znamionowych wynoszą odpowiednio $t_{D(ON)} = 84$ ns, $t_{d(off)} = 35$ ns, a prąd dopuszczalny drenu przy temperaturze 25°C jest równy 480 A. Jego maksymalna temperatura robocza wynosi 175°C [7].



Rys. 5. Schemat blokowy źródła prądowego dużej mocy [7]

Następnym elementem toru prądowego jest dioda zwrotna. Użyta została dioda Schottky'ego o numerze katalogowym DSA300I100NA. W stanie przewodzenia spadek napięcia V_F wynosi tylko 0,88 V przy temperaturze pracy 125°C. W stanie zaporowym jest ona w stanie wytrzymać prąd wsteczny udarowy na poziomie 4,2 kA, a jego maksymalne wsteczne napięcie powtarzalne wynosi $V_{RRM} = 100$ V [6].



Rys. 6. Schemat blokowy źródła prądowego dużej mocy [6]

Jednym z najważniejszych parametrów przetwornicy jest indukcyjność cewki, której zadaniem jest gromadzić energię w momencie załączenia klucza tranzystora, natomiast w momencie, gdy klucz jest wyłączony oddawać zgromadzoną energię. Ta cecha powoduje łagodzenie tętnień prądu wyjściowego. Znajac parametru układu oraz założenia do projektu, wartość indukcyjności na potrzeby projektu została wyznaczona przez gotowy kalkulator internetowy.

Tabela 1. Parametry projektowanej przetwornicy obniżającej napięcie [8]

$V_{in_min} = 24.0V$	$V_{in_max} = 29.0V$	$V_{in} = 29.0V$
$V_{out} = 24.0V$	$I_{out} = 100.0A$	$f = 100.0kHz$
$L = 83.16\mu H$	ΔI_L for $V_{in_max} = 0.5A$	

Symulacja układu wykazała parametry potrzebnych materiałów do wykonania cewki:

- rdzeń pierścieniowy o średnicy zewnętrznej $R=12,5$ wykonany z ferrytu niklowo-cynkowego (Ni-Zn),
- przewód: $d \geq 6,51mm$, $A \geq 33,33mm^2$,
- liczba zwojów: 11.

Do pomiaru natężenia prądu wyjściowego projektowanego układu zostanie wykorzystany czujnik z efektem Hall'a firmy Orion BMS. Podczas doboru odpowiedniego czujnika trzeba wiedzieć jaki zostanie uzyskany prąd, z racji badań eksperymentalnych zdecydowano się na czujnik o większym zakresie niż zakładany prąd wyjściowy. W układzie zostanie zastosowany czujnik umożliwiający dokonanie pomiaru do 350 A. Czujnik z efektem Hall'a firmy Orion BMS zaprojektowany jest do pomiaru prądu stałego o zakresie ± 350 A. Temperatura robocza wynosi od $-40^\circ C$ do $125^\circ C$, a czas odpowiedzi na zmianę pola magnetycznego wynosi 10 ms [5].

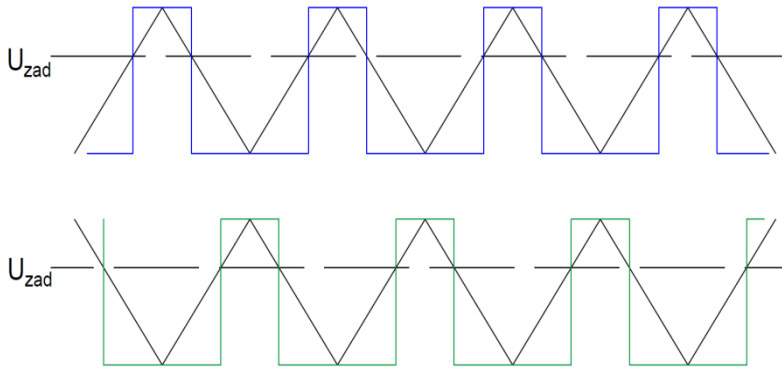


Rys.7. Czujnik z efektem Hall firmy Orion BMS[5]

Proces regulacji prądu wyjściowego oraz zarządzanie stanami elementu kluczującego odbywa się za pomocą układów scalonych wyspecjalizowanych kontrolerów (ang. *driver*) połączonych z tranzystorami MOSFET.

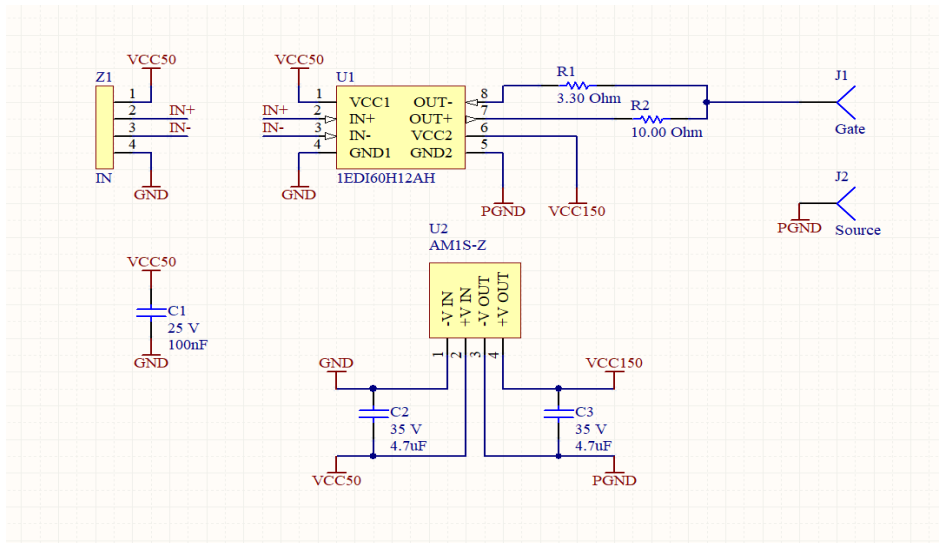
Wybór ostatecznie padł na kontroler firmy Eice DRIVER 1EDI Compact firmy Infineon o symbolu 1EDI60H12AH. Badania wykazały, że był on szybszy niż produkty innych firm przodujących. Jego parametry zezwalały na szybkie wyłączenie jednego klucza tranzystora i załączenie kolejnego bez możliwości

zaistnienia stanu zwarcia między gałęziami. Na rysunku 8 przedstawione zostały poglądowe przebiegi załączania sterowania przy użyciu impulsów PWM [3].



Rys. 8. Przebiegi zadziałania PWM dla napięcia zadanego [3]

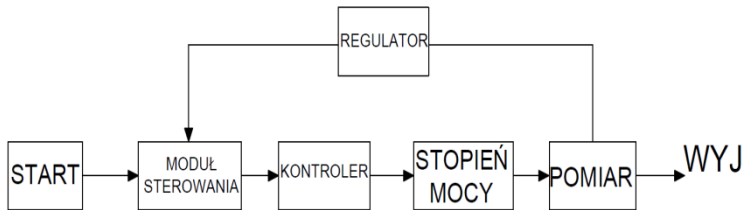
Kontroler ten znajduje szerokie zastosowanie w wysoko napięciowych urządzeniach jak np.: przetwornice DC/DC, falowniki DC/AC, panele fotowoltaiczne, itd.. Układy te zostały zaprojektowane do współpracy z szybkimi tranzystorami takimi jak IGBT oraz MOSFET, posiadający możliwość regulacji prądu ± 6 A. Układy kontrolerów zostały elektrycznie połączone z elementami kluczującymi w tym przypadku z tranzystorami MOSFET oraz z modułem sterującym STM32L053 Nucleo-64 [3].



Rys. 9. Schemat połączeń elektrycznych kontrolerów [3]

ALGORYTM STERUJĄCY

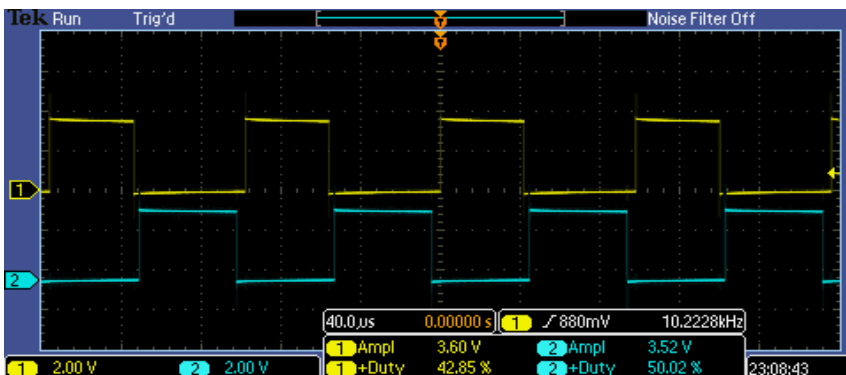
Kod sterowania układem przetwornika wielofazowego podzielony jest na dwie części. Jako pierwszy został stworzony kod z częścią regulatora PID, natomiast drugą częścią jest generator sekwencji PWM sterowania kluczy. Jako modulację impulsów wybrano modulację PWM Center-Aligned, która polega na zrównaniu sygnału PWM do pewnego wybranego przez nas punktu odniesienia, umożliwia to załączanie elementu w stan przewodzenia w obszarze między tymi punktami. Po osiągnięciu wartości powyżej zadanego punktu sygnał PWM przyjmuje stan wysoki, natomiast w czasie opadania i przekroczeniu tego punktu na zboczu opadającym osiąga czas niski, w tym momencie pojawia się czas martwy (ang. *Dead-Time*), który umożliwia wyłączenie się klucza tranzystora. Użycie tej wersji modulacji PWM zwiększa niezawodność układu, poprzez wyeliminowanie sytuacji, gdzie może dojść do zwarcia podczas załączenia dwóch tranzystorów w tym samym czasie [9].



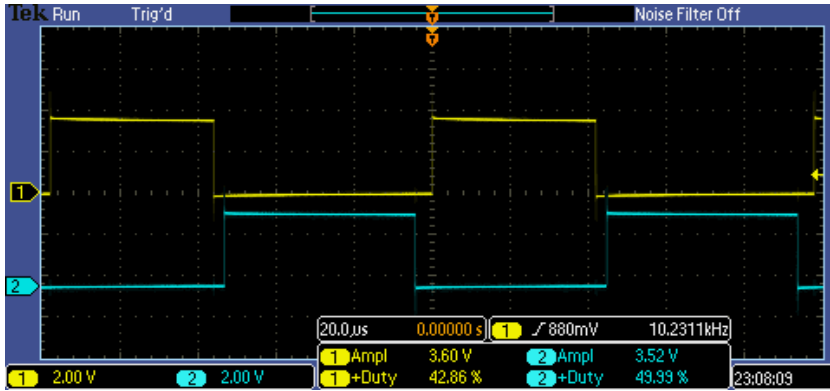
Rys. 10. Schemat połączeń elektrycznych kontrolerów [3]

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Badania zostały wykonane przy obciążeniu znamionowym, został przebadany wyspecjalizowany układ scalony odpowiedzialny za sterowanie kluczami tranzystorów oraz zmierzono natężenie prądu wyjściowego. Pierwsze wyznaczone zostały przebiegi kluczowania tranzystorów przetwornicy wielofazowej. Badania przeprowadzono dla częstotliwości równej 100 kHz.

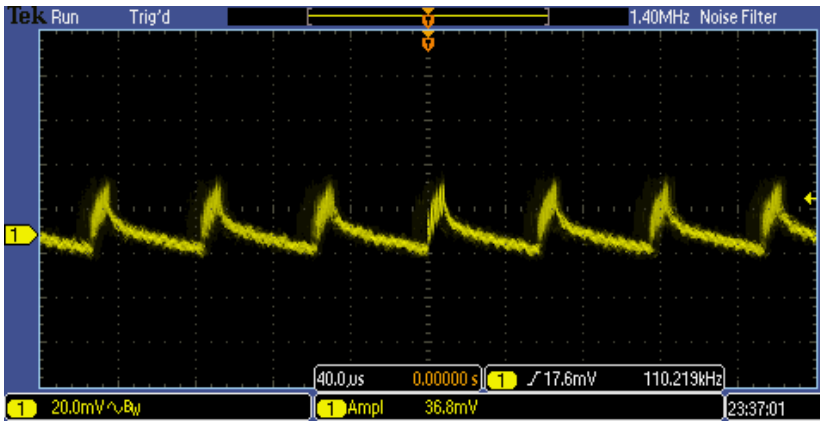


Rys. 11. Przebieg załączania tranzystorów sterowanych metodą PWM [3]



Rys. 12. Przebieg przedstawiający przesunięcie pomiędzy załączeniami tranzystora pierwszej i drugiej gałęzi [3]

Rysunek 12 przedstawia przebiegi przełączania się tranzystorów odbywających się za pomocą PWM Center-Aligned, widoczne są czasy opóźnienia, czyli Dead-Time. Współczynniki wypełnienia impulsów to 43% oraz 50%.



Rys. 13. Przebieg załączania tranzystorów sterowanych metodą PWM [3]

Badania układu zostały przeprowadzone przy znamionowym obciążeniu. Pomiar miał na celu wyznaczenie natężenia prądu wyjściowego układu oraz określenie wartości zjawiska tętnienia. Głównymi założeniami projektu było uzyskanie natężenia wyjściowego na poziomie 100 A oraz zminimalizowanie zjawiska tętnienia do poziomu 0,5 A przy częstotliwości równej 100 kHz.

Pomiary zostały wykonane przy częstotliwości równej 100 kHz, natężenie maksymalne jakie osiągnięto przez układ wyniosło 120 A. Pomiar został wykonany za pomocą czujnika prądu, wartość 30 mV na przebiegu odpowiada 0,6 A tętnień.

PODSUMOWANIE

Z racji na wciąż rosnące zapotrzebowanie na magazyny energii, potrzebne są nowe strategie ładowania. Projekt ten miał na celu zbudowanie w prosty sposób źródła prądowego, które umożliwi przesłanie energii o nie zmiennych parametrach. Wykonane źródło prądowe spełnia założenia przedstawione na etapie projektowania.

Zastosowanie sterowania PWM Center-Aligned, pozwoliło na przełączanie tranzystorów poszczególnych gałęzi przetwornicy wielofazowej obniżającej napięcie co wykazały przedstawione wyżej badania (Rys. 11). Zmiana współczynnika wypełnienia w sposobie sterowania tranzystorami MOSFET, determinuje układ do zmiany wydajności prądowej oraz sprawności. Pomiary prądu zostały wykonane za pomocą czujnika prądowego i wyniosło one maksymalnie 120 A, czyli więcej niż zakładano w trakcie projektowania przy niewielkim wzroście tętnień z planowanego 0,5 A do zmierzonego 0,6 A.

LITERATURA

- [1] Bolkowski S., *Teoria obwodów elektrycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1995.
- [2] Saleemi F. M., *Analysis and design of multiphase Multi interleave DC-DC converter with input-output bypass capacitor*. California Polytechnic State University, 2008.
- [3] Marcinkowski M., *Projekt źródła prądowego dużej mocy*, praca inżynierska, Politechnika Lubelska 2019
- [4] <http://imcon.pl/pl/techniczne/ogolnezas.html#top>, zasoby z dnia 20.12.2018
- [5] <https://www.orionbms.com/features/current-sensor-support/>, zasoby z dnia 10.01.2019 r.
- [6] <http://ixapps.ixys.com/Datasheet/DSA300I100NA.pdf>, zasoby z dnia 10.01.2019)
- [7] [http://ixapps.ixys.com/DataSheet/DS100193B\(IXFN520N075T2\).pdf](http://ixapps.ixys.com/DataSheet/DS100193B(IXFN520N075T2).pdf), zasoby z dnia 10.01.2019 r.
- [8] http://schmidt-walter-schaltnetzteile.de/smpps_e/abw_smpps_e.html, zasoby z dnia 10.01.2019 r.
- [9] <http://microchipdeveloper.com/pwr3101:pwm-edge-center-aligned-modes>, zasoby z dnia 19.11.2018 r.

WPLYW WYGRZEWANIA NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNE NANOKOMPOZYTÓW (FECOZR)_x(SIO₂)_(100-x) WYTWORZONYCH METODĄ DWUŹRÓDŁOWEGO ROZPYLANIA JONOWEGO

WSTĘP

Rozwój nanotechnologii znacząco przyczynił się do postępu w badaniach nad zupełnie nowymi rodzajami materiałów inżynierskich. Przedstawiony nanokompozyt jest przedstawicielem grupy nazwanej nanomateriałami. Wyróżnikiem tych materiałów jest to, że wytwarzane są w skali nanometrycznej. Cechują je także zupełnie nowe właściwości, szczególnie znacznie wyższa wytrzymałość mechaniczna, ale również inne właściwości cieplne, czy elektryczne w porównaniu z klasycznymi materiałami inżynierskimi. Klasyczne materiały w tym wypadku rozumiane są jako te, które posiadają wymiary na poziomie mili- i mikrometrów [13].

Przedstawiony materiał wchodzi w skład również innej grupy materiałów – kompozytów. Szczególną ich cechą jest to, że powstały przez połączenie co najmniej dwóch komponentów o różnych właściwościach. Powstały w ten sposób produkt ma lepsze właściwości od każdego z wchodzących w jego skład materiałów osobno, szczególnie znacznie większa jest jego trwałość mechaniczna [14].

NANOKOMPOZYTY

Nanokompozyty są jednymi z nowoczesnych inżynierskich materiałów składających się z dwóch lub więcej kompozytów pod warunkiem występowania jednego z nich w nano-skali. Jako materiał nanokompozyt łączy wiele dziedzin nauki takich jak fizyka, chemia, biologia molekularna, ponieważ główną rolę w strukturze tego materiału odgrywają pojedyncze atomy lub cząstki. Właściwości mechaniczne, chemiczne, magnetyczne oraz optyczne znacznie różnią się od materiałów wykonanych w innej skali metrycznej tym, że zaczynają zależeć od wielkości zawartych w tym materiale cząstek [4, 5]. Dzięki takiemu spojrzeniu na materiał dostrzegamy, że poniżej pewnego rozmiaru cząstek zachodzą w nim efekty kwantowe definiowane przez fizykę kwantową [6]. Poprzez zmniejszenie rozmiarów atomów powstaje wiele problemów nowoczesnej elektroniki. Niektóre z nich związane są z ograniczeniami

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, rafal.golonka@pollub.edu.pl,

² Politechnika Lubelska, WEiI, kamil.dziadosz@pollub.edu.pl

technicznymi lub też z powstaniem nowych fizycznych zjawisk charakterystycznych tylko dla nanometrycznego świata [3].

Nanokompozyty według autorów książki pod tytułem „Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne” posiadają dwie warstwy: osnowę nanokompozytu oraz nanonapełniacz nanokompozytu. Osnowa nanokompozytu to główny materiał strukturalny, na którym umieszczany jest nowoczesnymi technikami nanonapełniacz o wymiarze mniejszym niż 100 nm. Nanonapełniacz nanokompozytu posiada zatem cząstki o różnym kształcie tj. płytki, rurki [7]. Dzięki takiemu połączeniu nanokompozyt uzyskuje lepsze właściwości niż materiał o takim samym składzie chemicznym i fazowym, lecz w innej skali metrycznej.

Podstawowym podziałem nanokompozytów jest podział ze względu na osnowę. Wyróżniamy cztery typy osnowy: ceramiczną, metaliczną, magnetyczną oraz polimerową. Każda grupa nanokompozytów wykazuje unikalne właściwości, na co wpływa szereg czynników, np. rozłożenie cząstek w materiale, występowanie naprężeń na krawędziach nanokompozytu, wielkość cząstek nanonapełniacza, moduł Younga, moduł sprężystości oraz struktury osnowy [8].

Właściwości nanocząsteczkowych kompozytów wykazują szereg lepszych właściwości niż materiały kompozytowe dzięki małemu rozmiarowi oraz oddziaływaniu atomów na granicy powierzchni. Umieszczając losowo cząstki ferromagnetyczne w matrycy dielektrycznej uzyskujemy dużą magnetorezystancję, która znajduje zastosowanie w spintronice [3, 9]. Łącząc materiał polimerowy z nanorurkami węglowymi uzyskiwany jest nanokompozyt o dużej wytrzymałości mechanicznej stosowany w szeroko pojętej inżynierii samochodowej oraz w przemyśle tworzącym opakowania (PET). Nanokompozyty na osnowie metalicznej wykazują lepszą przewodność elektryczną oraz wytrzymałość, stosowane są głównie w przemyśle lotniczym i kosmicznym [3]. Pokrycia z nanokompozytów ceramicznych zapewniają długotrwałą wytrzymałość, odporność na ścieranie i są stosowane do produkcji wiertel lub ostrych narzędzi [10]. Powstałe w ostatnich czasach nanokompozyty znalazły zastosowanie nawet w medycynie. Stosuje się je do rozpoznawania nowotworów lub w terapiach przeciwnowotworowych. Są idealnymi nośnikami leków – za pomocą nanokompozytów możemy doprowadzić lek w odpowiednie miejsce organizmu ludzkiego [3, 11, 12].

Poznanie struktury nanokompozytu nie należy do łatwych zadań, ponieważ powstałe łączenia atomowe w nanokompozycie są wielkościami mniejszymi niż 100 nm. Do poznania struktury materiału używa się przyrządów optycznych o wysokiej rozdzielczości np. mikroskopów elektronowych (SEM, TEM) lub wykorzystuje się badanie spektroskopowe, mikroskopie sił atomowych.

STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko zaprezentowane na zdjęciu 1 zostało zaprojektowane przez pracowników Katedry Urządzeń elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć Politechniki Lubelskiej. Użyte urządzenia to:

- trzy mostki typu HIOKI 3532-50 LCR HiTESTER – używane do dokonywania pomiarów właściwości elektrycznych w zakresie częstotliwości 50 Hz – 5 MHz,
- kriostat helowy – w komorze próżniowej kriostatu helowego umieszczone zostały badane próbki,
- kontroler temperatury typu LakeShore 335 – poprzez użycie diody D7-670 umieszczonej w komorze próżniowej możliwe było dokładne odczytywanie temperatury,
- pompa próżniowa firmy Kurt J. Lesker – urządzenie do uzyskania próżni o ciśnieniu $8 \cdot 10^{-5}$ Pa,
- kompresor helowy firmy Advanced Research Systems – chłodzenie nanokompozytu odbywało się w przedziale temperatur 20–375 K.

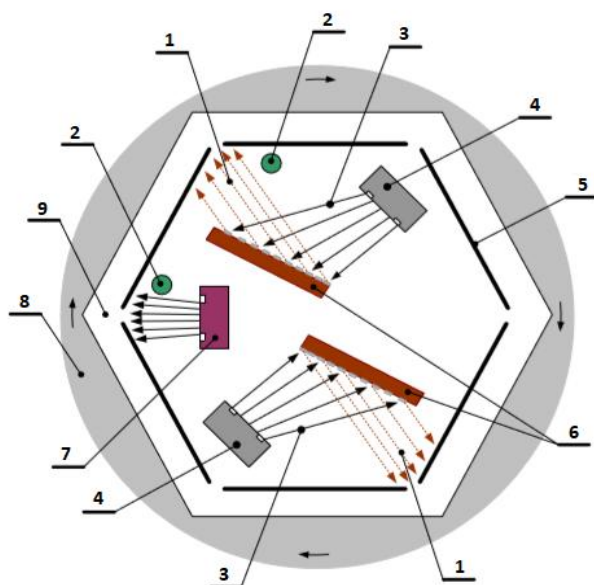


Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do badań właściwości elektrycznych nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$

METODA WYTWARZANIA

Nanokompozyty $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ posiadają strukturę typu metal – dielektryk. Wytworzone zostały przy wykorzystaniu metody dwuźródłowego rozpylania jonowego wiązkami tlenu i argonu. Koniecznym przy zastosowaniu tej metody jest spełnienie kilku ważnych warunków [15]:

- substancje nie mogą być wzajemnie rozpuszczalne,
- pomiędzy komponentami musi występować wysoka różnica ich energii powierzchniowych,
- pomiędzy pierwiastkami wchodzącymi w skład faz metalicznej i dielektrycznej nie mogą występować trwałe związki chemiczne.



Rys. 2. Uproszczony schemat stanowiska do wytwarzania przedstawionych nanokompozytów [3]:
 1 – strumień atomów, 2 – kompensatory, 3 – strumień jonów,
 4 – źródła służące do jonowo-wiązkowego rozpylania, 5 – dielektryczne podłoża, 6 – rozpylane tarcze, 7 – źródło służące oczyszczania podłoż, 8 – komora próżniowa, 9 – obracający się bęben

W dielektrycznej matrycy tlenku krzemu SiO_2 formowane są nanocząstki fazy metalicznej, którą w tym wypadku jest FeCoZr . Zachodzący proces ma miejsce w układzie przedstawionym na rysunku 2. Warstwa nanokompozytu nanoszona jest na szkłano-ceramiczne podłożę, która wcześniej oczyszczana jest za pomocą procesu trawienia jonowego przez jony z jednego źródła (7). Źródło jonowo-wiązkowego rozpylania (4) służy do rozpylenia materiału – tarczy (6) ze stopu FeCoZr , do której przymocowane zostały paski dielektryka SiO_2 . Gaz technologiczny, którym w tym wypadku jest mieszaniną tlenu oraz argonu doprowadzany jest do odpowiednich źródeł (4). Warstwa wytwarzanego nanokompozytu powstaje poprzez osadzanie się atomów wybijanych przez strumień jonów (3) z przygotowanych wcześniej tarcz. Cały proces zachodzi w obracającym się bębnie (9) umieszczonym w próżniowej komorze (8) [3, 16].

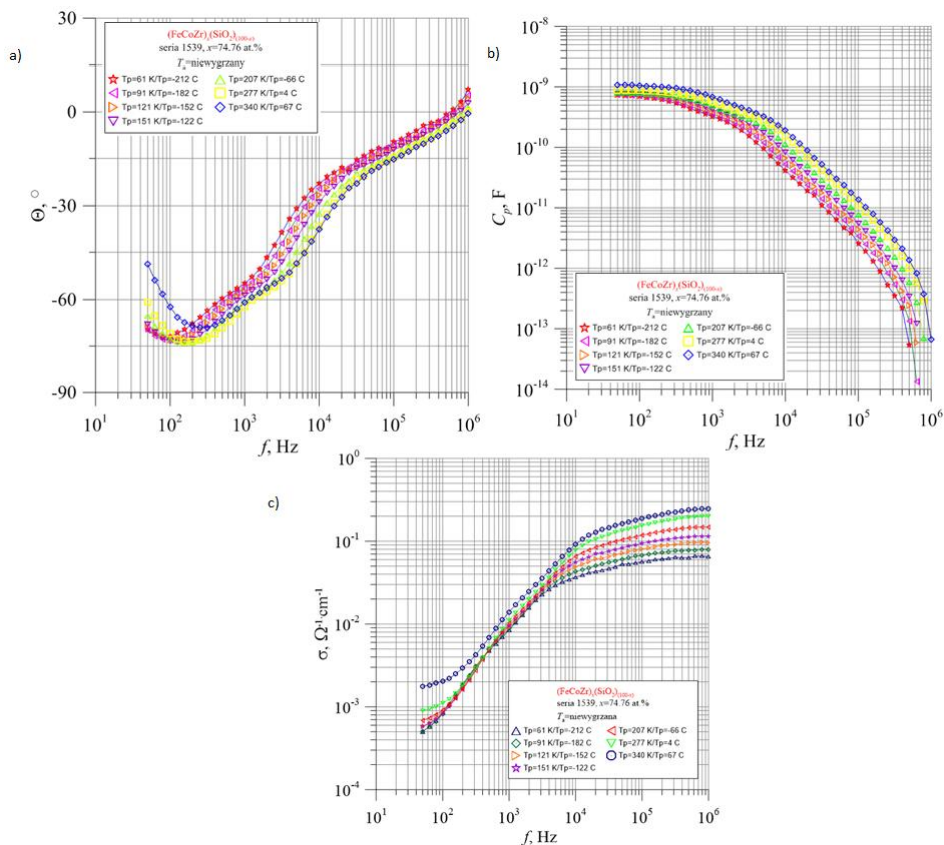
WYNIKI BADAŃ

Pomiarom właściwości elektrycznych poddane zostały dwie próbki o różnej zawartości fazy metalicznej $x_1 = 74,76$ at.% i $x_2 = 77,85$ at.%. Próbki zostały poddane wygrzewaniu izochronicznemu dla temperatur z przedziału od 398 do 473 K ze skokiem 25 K. Każdorazowo po wygrzaniu sprawdzane były właściwości elektryczne materiałów. Za pomocą cyfrowych mierników

impedancji mierzone były pojemność C_p , kąt Θ przesunięcia fazowego, rezystancja R_p oraz tangens kąta strat $\text{tg}\delta$.

Sporządzone zostały wykresy przedstawiające zależności pewnych wielkości elektrycznych nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla wybranych temperatur pomiarowych.

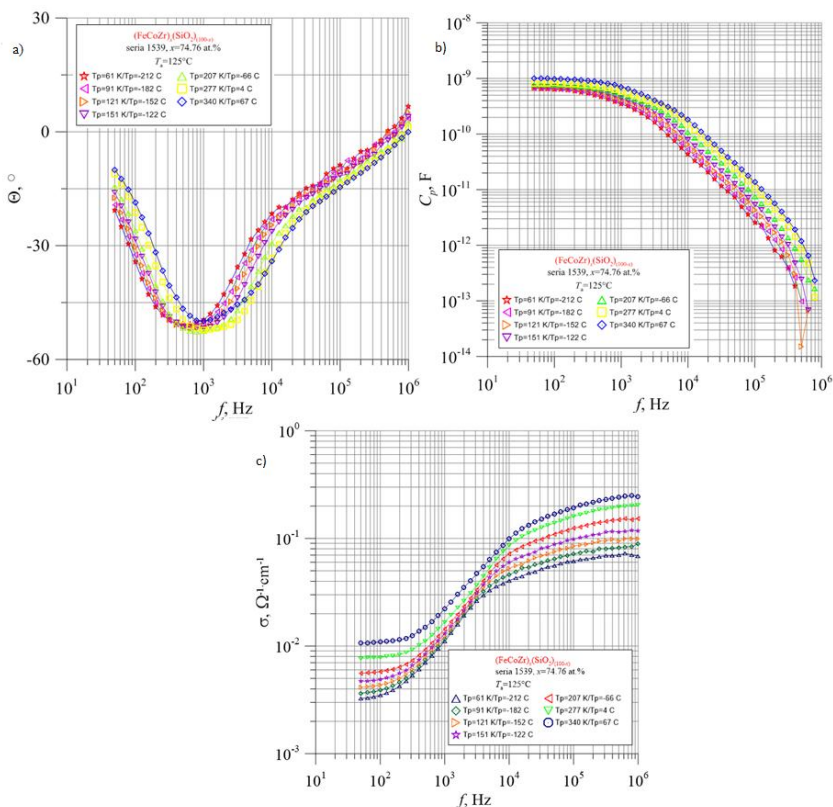
WYNIKI DLA ZAWARTOŚCI FAZY METALICZNEJ $x_I = 74,76 \text{ AT.}\%$



Rys. 3. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki niewygrzanej dla zawartości fazy metalicznej $x_I = 74,76 \text{ at.}\%$ [1, 2]

Rysunek 3 przedstawia zależności częstotliwościowe nanokompozytu zaraz po wytworzeniu. Widoczny jest znaczny wzrost konduktywności (c) – ponad dwa rzędy. Gwałtowny jej wzrost przypada na zakres częstotliwości od ok. 80 Hz do 10^4 Hz. Powyżej tej częstotliwości obserwowana jest powolna stabilizacja konduktywności. Wraz ze wzrostem częstotliwości zmniejsza się wartości pojemności C_p . Obserwujemy zmiany pojemności w przedziale od 10^{-14} F do

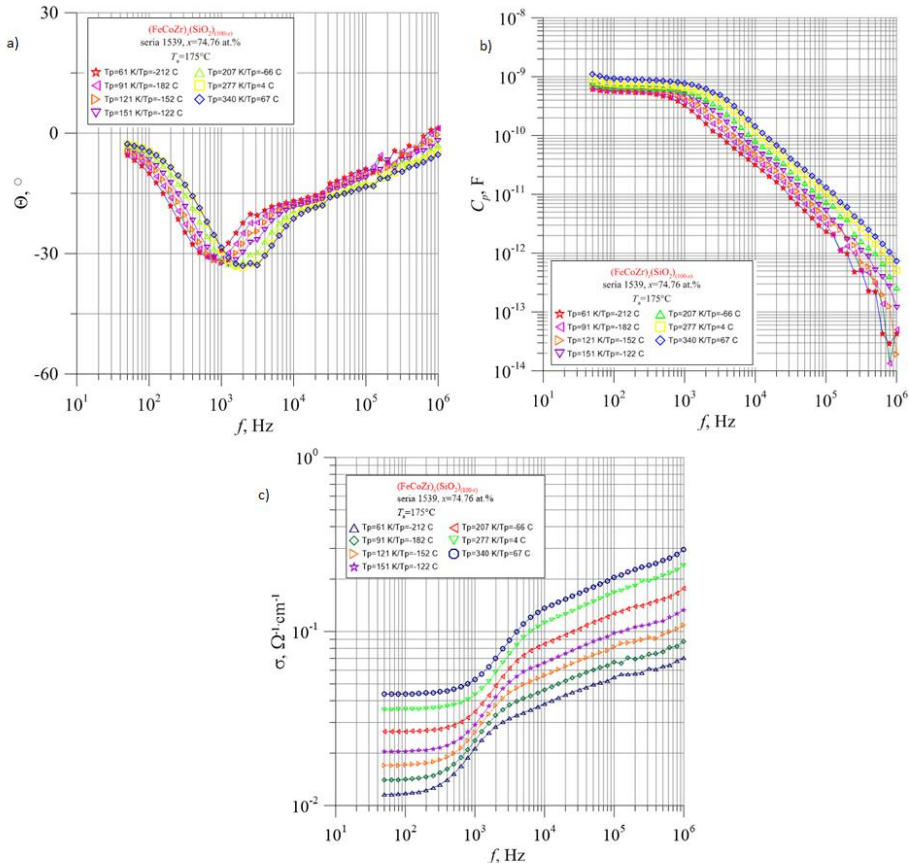
10⁻⁹ F. W przedziale niskich wartości częstotliwości (do ok. 3×10³ Hz) zmiana ta jest wolna, natomiast w przedziale wysokich częstotliwości wartość pojemności spada gwałtownie. Częstotliwość, przy której obserwujemy wartości minimalne pojemności odpowiada częstotliwości, przy której wartość kąta przesunięcia fazowego (Rys. 4) osiąga lub przekracza wartość 0°. Wraz ze wzrostem temperatury pomiarowej wartość pojemności C_p wzrasta. W zakresie wysokich częstotliwości wartości kąta przesunięcia fazowego osiąga, a następnie przekracza wartość 0°. Częstotliwość, przy której kąt przesunięcia fazowego θ osiąga wartość 0° nazywamy częstotliwością rezonansową [1, 2].



Rys. 4. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki wygrzanej w temperaturze $T_a=125^\circ\text{C}$ o zawartości fazy metalicznej $x_1=74,76$ at.% [1, 2]

Rysunek 4 przedstawia wykresy zależności częstotliwościowych wybranych wielkości elektrycznych dla próbki poddanej wygrzewaniu w temperaturze $T_a=125^\circ\text{C}$. Konduktywność (wykres c) utrzymuje stadium stabilizacji do wartości ok. 200 Hz. Następnie następuje gwałtowny wzrost jej wartości (od ok. $3 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ do $9 \cdot 10^{-1} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ – dla temp. $T_p = 91$ K). Powyżej 10^4 Hz

konduktywność narasta powoli i się stabilizuje. W nanokompozycie wygrzanym w temperaturze 125°C charakter zmian pojemności C_p nie uległa zmianie w stosunku do nanokompozytu niewygrzanego. Obserwujemy zmianę przedziału kąta przesunięcia fazowego Θ z wartości bliskich (-75° – 10°) do przedziału (-50° – 10°). W zakresie wysokich częstotliwości wartości kąta przesunięcia fazowego osiąga a następnie przekracza wartość 0° [1, 2].

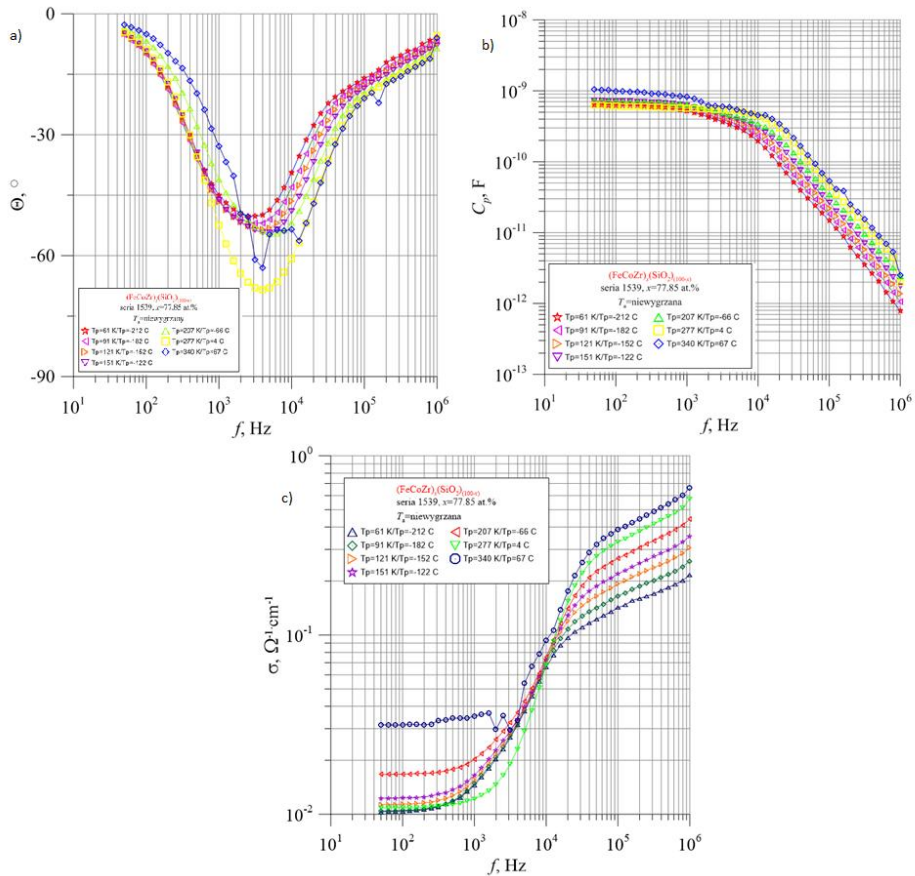


Rys. 5. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki wygrzanej w temperaturze $T_a = 175^\circ\text{C}$ o zawartości fazy metalicznej $x_1 = 74,76$ at.% [1, 2]

Zależności częstotliwościowe dla próbek wygrzanych w temperaturze $T_a = 175^\circ\text{C}$ pokazuje rysunek 5. Stadium stabilizacji konduktywności (c) przeciąga się do ok. 300 Hz, a powyżej tej wartości – w zakresie częstotliwości średnich skok wartości konduktywności nie jest tak duży – nie przekracza rzędu wielkości. Dla częstotliwości powyżej 10^4 Hz widoczny jest powolny wzrost

konduktywności bez stadium stabilizacji. Na rysunku 5 obserwujemy powstanie delikatnego wzrostu pojemności w przedziale do 100 Hz. Pojemność C_p pozostaje niezmienna dla wartości częstotliwości f z przedziału od 10^2 Hz do 3×10^3 Hz oraz stopniowo zmniejsza się po przekroczeniu tej wartości. Zakres kąta przesunięcia fazowego θ zmniejszył się, zwiększając częstotliwość zaobserwować można śladowy przyrost wartości pojemności i kąta przesunięcia fazowego w zakresie niskich częstotliwości [1, 2].

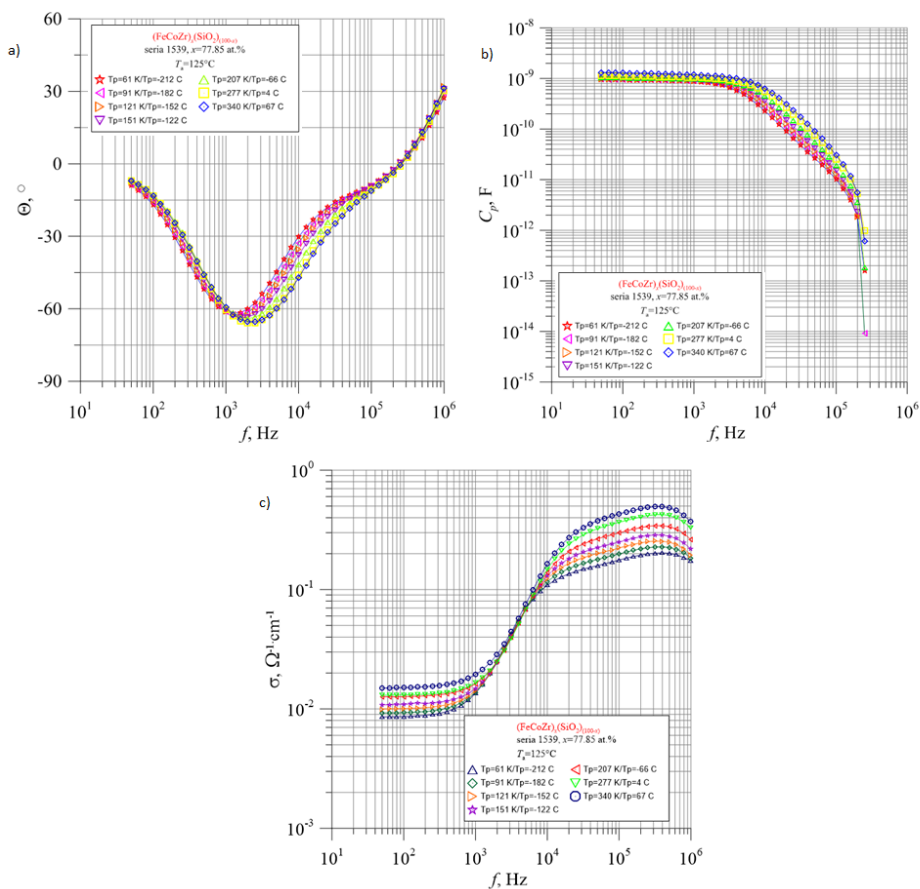
WYNIKI DLA ZAWARTOŚCI FAZY METALICZNEJ $x_2 = 77.85$ AT.%



Rys. 6. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki niewygrzanej dla zawartości fazy metalicznej $x_2 = 77,85$ at.% [1, 2]

Rysunek 6 przedstawia kolejne zależności częstotliwościowe wybranych wielkości elektrycznych badanego nanokompozytu dla zwiększonej zawartości fazy metalicznej $x_2 = 77,85$ at.%. Stadium stabilizacji konduktywności

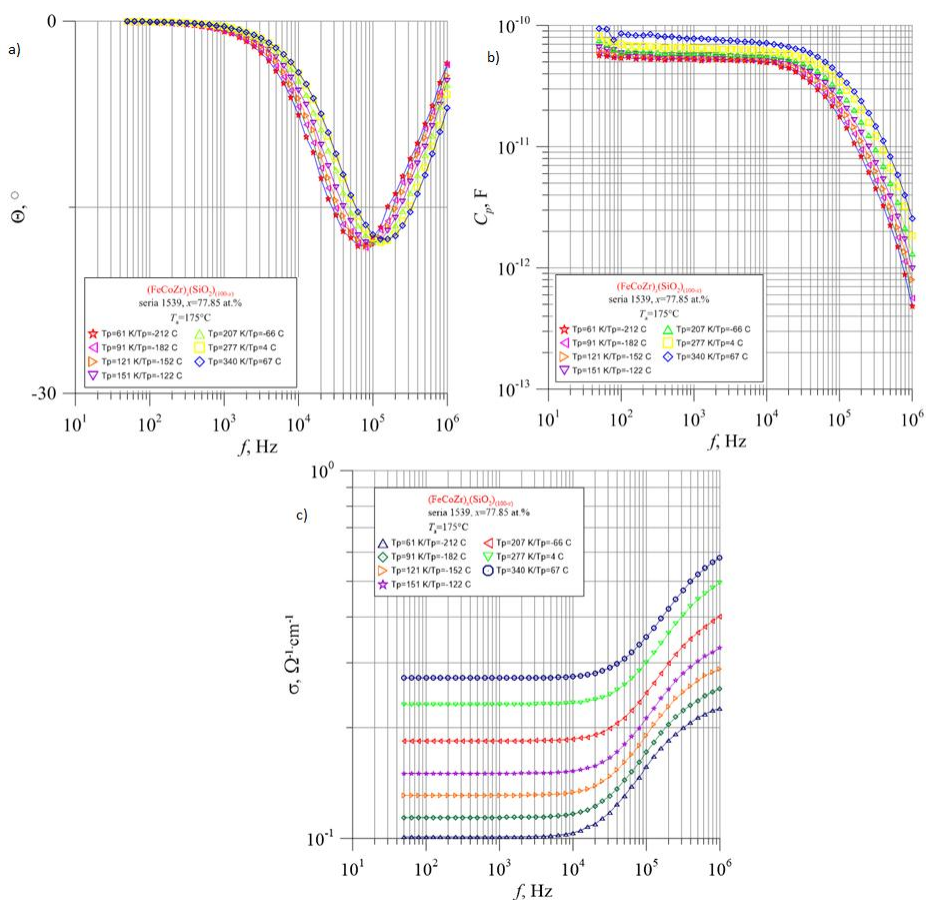
w zakresie częstotliwości niskich utrzymuje się do ok. 500 Hz. Następnie pojawia się gwałtowny wzrost jej wartości, a powyżej ok. 30 000 Hz narastanie wartości konduktywności nie jest już tak gwałtowne. Wraz ze wzrostem częstotliwości zmniejsza się wartości pojemności C_p . Obserwujemy zmiany pojemności w przedziale od 10^{-12} F do 10^{-9} F. W przedziale niskich wartości częstotliwości (do ok. 3×10^4 Hz) zmiana ta jest wolna, natomiast w przedziale wysokich częstotliwości charakterystyka pojemności opada szybciej. Widać (wykres a), iż wraz ze wzrostem częstotliwości wartość kąta przesunięcia fazowego rośnie od wartości bliskich -60° do wartości ok. -10° [1, 2].



Rys. 7. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki wygrzanej w temperaturze $T_a = 125^\circ\text{C}$ o zawartości fazy metalicznej $x_2 = 77,85 \text{ at.}\%$ [1, 2]

Konduktywność (c) dla próbki wygrzanej w temperaturze $T_a = 125^\circ\text{C}$ przejawia dwa stadia stabilizacji – dla częstotliwości niskich oraz w zakresie częstotliwości wysokich. W przedziale od 10^3 Hz do 10^4 Hz następuje szybki

wzrost wartości konduktywności, natomiast na końcu częstotliwości pomiarowych zauważalny jest nieduży spadek konduktywności. Pojemność nanokompozytu maleje wraz ze wzrostem częstotliwości od 10^{-13} F do 10^{-9} F. W zakresie wysokich częstotliwości wartości kąta przesunięcia osiąga a następnie przekraczają wartość 0° . Częstotliwość, przy której kąt przesunięcia fazowego θ osiąga wartość 0° nazywamy częstotliwością rezonansową. Powyżej częstotliwości około 10^5 nanokompozyt z właściwości pojemnościowych dąży do właściwości indukcyjnych, dlatego pojemność nanokompozytu gwałtownie maleje [1, 2].



Rys. 7. Zależności: a) kąta przesunięcia fazowego, b) pojemności, c) konduktywności badanego nanokompozytu $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ od częstotliwości dla próbki wygrzanej w temperaturze $T_a=175^\circ\text{C}$ o zawartości fazy metalicznej $x_2=77,85$ at.%

Rysunek 7 przedstawia wykresy zależności częstotliwościowych wybranych wielkości elektrycznych dla temperatury wygrzewania $T_a = 175^\circ\text{C}$.

Charakterystyczne dla konduktywności (c) w tym wypadku jest brak zależności jej wartości od częstotliwości pomiarowej – do ok. 10^4 Hz konduktywność utrzymuje się na stałym poziomie. Następnie następuje wzrost jej wartości. W zakresie niskich częstotliwości nanokompozytu wygrzana próbka osiąga wartość kąta przesunięcia fazowego równą 0° . Częstotliwość rezonansowa występuje w zakresie od 50 Hz do 1000 Hz przy największej pojemności nanokompozytu (ok. 2×10^{-10} F) [1, 2].

PODSUMOWANIE

Pomiary przeprowadzone na stanowisku Katedry Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć zostały przeprowadzone zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami badań nanokompozytów. Na ich podstawie można wysunąć następujące wnioski [1, 2, 3]:

- Każda próbka wykazywała się wzrostem konduktywności wraz ze wzrostem temperatury pomiarowej. Na tej podstawie można stwierdzić, że badany nanokompozyt wykazuje przewodzenie typu dielektrycznego.
- Wzrost wartości temperatury wygrzewania T_a powoduje mniejsze zmiany konduktywności w przedziale częstotliwości pomiarowej.
- Próbka posiadająca wyższą zawartość fazy metalicznej $x_2 = 77,85$ at.% wykazuje mniejsze zależności wartości konduktywności od częstotliwości pomiarowej (dla wartości częstotliwości do ok. 10^4 Hz).
- Wraz ze wzrostem temperatury wygrzewania wzrasta wartość konduktywności, oraz zauważalny jest większy wzrost jej wartości dla częstotliwości powyżej 10^4 Hz.
- Ogólne zaobserwowane temperaturowe i częstotliwościowe zmiany pojemności C_p charakterystyczne dla każdej próbki to gwałtowny spadek pojemności w zakresie wysokich częstotliwości.
- Dzięki wygrzewaniu w wysokich temperaturach charakterystyka częstotliwościowej zależności kąta przesunięcia fazowego osiągała wartość 0° . Interesującym faktem jest zmiana charakteru materiału z pojemnościowego na indukcyjny po przekroczeniu częstotliwości rezonansowej.

LITERATURA

- [1] Dziadosz K., *Wpływ wygrzewania na konduktywność nanokompozytów $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ o dużej zawartości fazy metalicznej wytworzonych w atmosferze argonu z wysoką zawartością tlenu*, praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2019
- [2] Golonka R., *Wpływ wygrzewania na pojemność i kąt przesunięcia fazowego nanokompozytów $(\text{FeCoZr})_x(\text{SiO}_2)_{(100-x)}$ o dużej zawartości fazy metalicznej wytworzonych w atmosferze argonu z wysoką zawartością tlenu*, praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2019

- [3] Kołtunowicz T. N., *Badania wpływu procesów technologicznych na właściwości elektryczne nanostruktur wytwarzania technikami jonowymi*, rozprawa doktorska, Politechnika Lubelska, 2010
- [4] Pogrebnjak A.D., Beresnev V.M., *Nanocoatings nanosystems nanotechnologies*, Bentham Books, 2012
- [5] Zhang S., D. Sun, Y. Fu, H. Du: *Recent advances of superhard nanocomposite coatings: a review*, Surface Coatings Technology 167, 2003, p. 113–119
- [6] Boiko O., Kołtunowicz T.N., *Pomiary właściwości elektrycznych nanokompozytów o strukturze stop metaliczny FeCoZr w matrycy dielektrycznej PbZrTiO₃*, Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i ochronie środowiska vol. 3/2015, 2015, 65–70
- [7] Ajaya P.M., Schadler L.S., Braun P.V., *Nanocomposite Science and Technology*, Wiley-VCH, Weinheim, 2003
- [8] Lalwani G., Henslee A.M., Farshid B., Parmar P., Lin L., Qin Y.X., Kasper F.K., Mikos A.G., Sitharaman B., *Tungsten disulfide nanotubes reinforced biodegradable polymers for bone tissue*, Acta Biomaterialia 9 (9), 2013
- [9] Bykov I.V., Gan'shina E.A., Granovskii A.B., Gushchin V.S., *Magnetorefractive effect in granular films with tunneling magnetoresistance*, Physics of the Solid State 42, 2000, 498–502
- [10] Behrens S., Appel I., *Magnetic nanocomposites*, Current Opinion in Biotechnology 39, 2016, 89–96
- [11] Behrens S., *Preparation of functional magnetic nanocomposites and hybrid materials: recent progress and future directions*, Nanoscale 3, 2011, p.877–892
- [12] Varga L.K., *Soft magnetic nanocomposites for high-frequency and high-temperature applications*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 316 (2), 2007, 442–447
- [13] Kurzydłowski K., Lewandowska M., *Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne*, PWN, Warszawa 2010
- [14] <http://pg.gda.pl/info/mech/katedra/imis/wp-content/blogs.dir/49/files/2013/10/5-kompozyty.pdf>, zasoby z dnia 15.11.2018 r.
- [15] Kaczorowski M., Krzyńska A., *Konstrukcyjne materiały metalowe, ceramiczne i kompozytowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- [16] Fedotova J.A., Kołtunowicz T.N., Zhukowski P., *Transport ładunków i właściwości strukturalne wybranych nanokompozytów metal-dielektryk*, Politechnika Lubelska, Lublin, 2012

CZUJNIK PRACY SERCA OPARTY NA FOLIOWYM PRZETWORNIKU PIEZOELEKTRYCZNYM

WSTĘP

Według raportów World Health Organisation, w ciągu ostatnich 20 lat zaobserwowano gigantyczny wzrost liczby ludzi otyłych. W roku 1996 wynosił około 4%, natomiast w 2016 – już ponad 37%. Zjawisko jest nierozdzielnie związane z komputeryzacją naszego życia, a co za tym idzie – przechodzeniem na coraz bardziej siedzący tryb życia. Nieuchronną konsekwencją takich zmian jest narastająca tendencja do zapadania na choroby krążenia, które stanowią na świecie najczęstszą przyczynę zgonów. Nie dotyczą one jednak tylko ludzi otyłych. Mogą dotyczyć ludzi w każdym wieku, co więcej, znaczną grupę schorzeń kardiologicznych stanowią wady wrodzone, które mogą ujawnić się dopiero podczas intensywnego bądź długotrwałego wysiłku. Jak pokazuje historia, zdarzają się nawet przypadki zgonów u sportowców cieszących się dotychczas nienagannym pozornie zdrowiem. Z tego względu, regularne badanie serca jest bardzo istotne dla wszystkich grup pacjentów. Co za tym idzie, niezbędny jest system taniej, przesiewowej diagnostyki kardiologicznej, która umożliwi kontrolę u jak największej liczby osób.

W niniejszym artykule zaprezentowano system oparty na foliowym przetworniku piezoelektrycznym umożliwiający monitorowanie pracy serca w oparciu o zachodzące w nim zjawiska akustyczne. Obejmuje zarówno mechaniczną stronę projektu, jak również zaprogramowanie oraz implementację aplikacji wykonanej w środowisku LabVIEW.

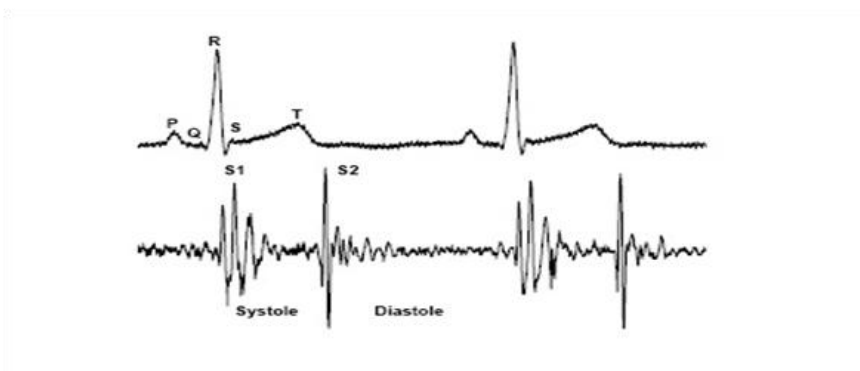
CYKL AKUSTYCZNY PRACY SERCA

Ludzkie serce to nieustannie pracująca pompa, która stanowi jedyną siłę tłoczącą krew w organizmie. W ciągu minuty dochodzi średnio do 72 skurczów, z których każdy można podzielić na kilka faz [3]. W pierwszej fazie, przez otwarte zastawki przedsionkowo-komorowe, na skutek różnicy ciśnień, krew samoczynnie przepływa do komór. Dalej, następuje skurcz przedsionków, podczas którego reszta krwi jest wtłaczana do komór. Gdy ciśnienie w niech przekroczy ciśnienie w przedsionkach, zastawki przedsionkowo-komorowe zamykają się uniemożliwiając nawrót krwi. Ułamek sekundy później następuje skurcz komór, któremu towarzyszy wyrzut krwi z serca przez zastawkę tętnicy pnia płucnego do płuc oraz przez zastawkę aortalną do pozostałych narządów

¹Politechnika Lubelska, WEiI, agnieszka.zietek33@gmail.com

ciała. Po zakończeniu skurczu, te zastawki ulegają zamknięciu, krew przepływa przez organizm oraz zaczyna wypełniać puste przedsionki. Następnie rozpoczyna się kolejny cykl pracy serca.

Z punktu widzenia opracowanego systemu, najistotniejsze składowe cyklu, to momenty zamknięcia zastawek. Towarzyszą im bowiem charakterystyczne dźwięki nazywane tonami serca, których częstotliwość wynosi 25–50 Hz [2]. Pierwszy (S1) oznacza zamknięcie zastawek przedsionkowo-komorowych, natomiast drugi (S2) – zastawki aortalnej oraz zastawki tętnicy pnia płucnego. Porównując ich zapis do przebiegu EKG można stwierdzić, że pokrywają się one kolejno z końcem załamka QRS oraz końcem załamka T.



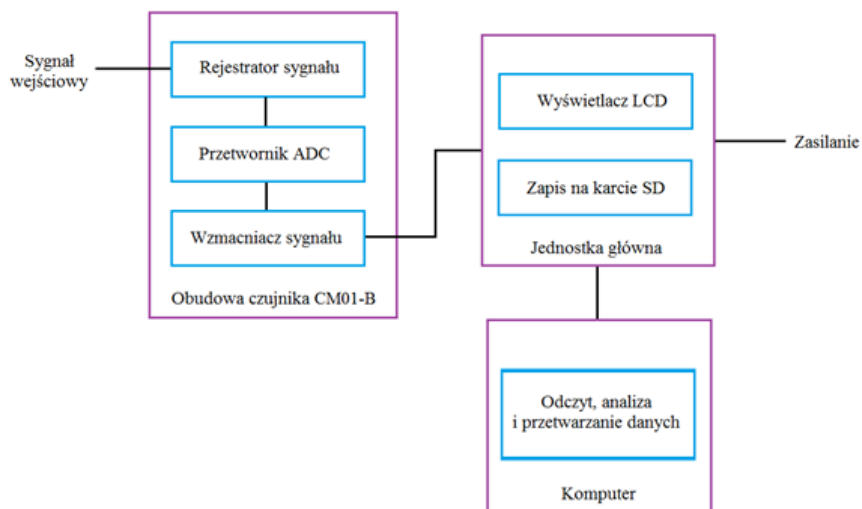
Rys. 1. Porównanie krzywej fonokardiograficznej oraz echokardiograficznej [6]

Literatura wyszczególnia również dalsze tony, które mogą, lecz nie muszą występować. Na przykład ton trzeci (S3) jest często obserwowany u osób regularnie uprawiających sport, jednak jego występowanie u osób starszych może oznaczać stany patologiczne [1].

Na podstawie parametrów tonów, a szczególnie ich częstotliwości, miarowości oraz odstępów, można dokonywać szybkiej przesiewowej diagnostyki serca, co zostało wykorzystane w niniejszym projekcie.

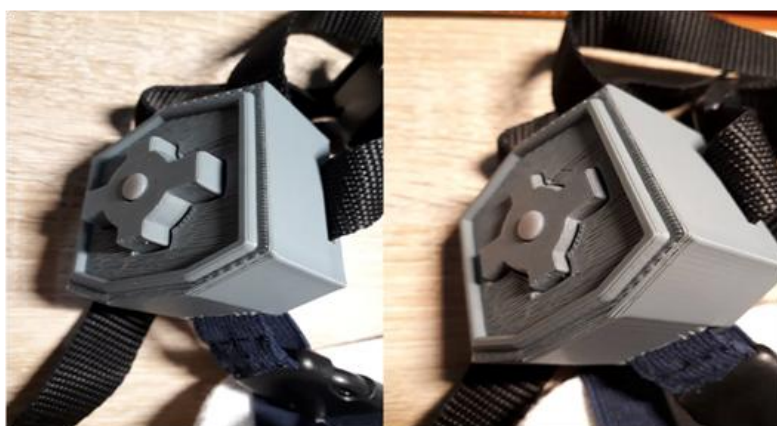
ZAŁOŻENIA I REALIZACJA PROJEKTU

Celem projektu jest budowa oraz implementacja systemu opartego na foliowym przetworniku piezoelektrycznym, służącym do diagnostyki pracy serca na podstawie emitowanego sygnału akustycznego. Wykorzystano czujnik CM-01b firmy Measurement Specialties. Jego właściwym elementem pomiarowym jest folia wykonana z PVDF (polifluorek winylidenu), której odkształcanie pod wpływem fali akustycznej powoduje powstawanie napięcia. Jest ono mierzone, wzmacniane, przetwarzane na sygnał cyfrowy oraz zapisywane na karcie pamięci w jednostce głównej urządzenia, która została wykonana w ramach pracy dyplomowej innego studenta.



Rys. 2. Schemat funkcjonowania systemu

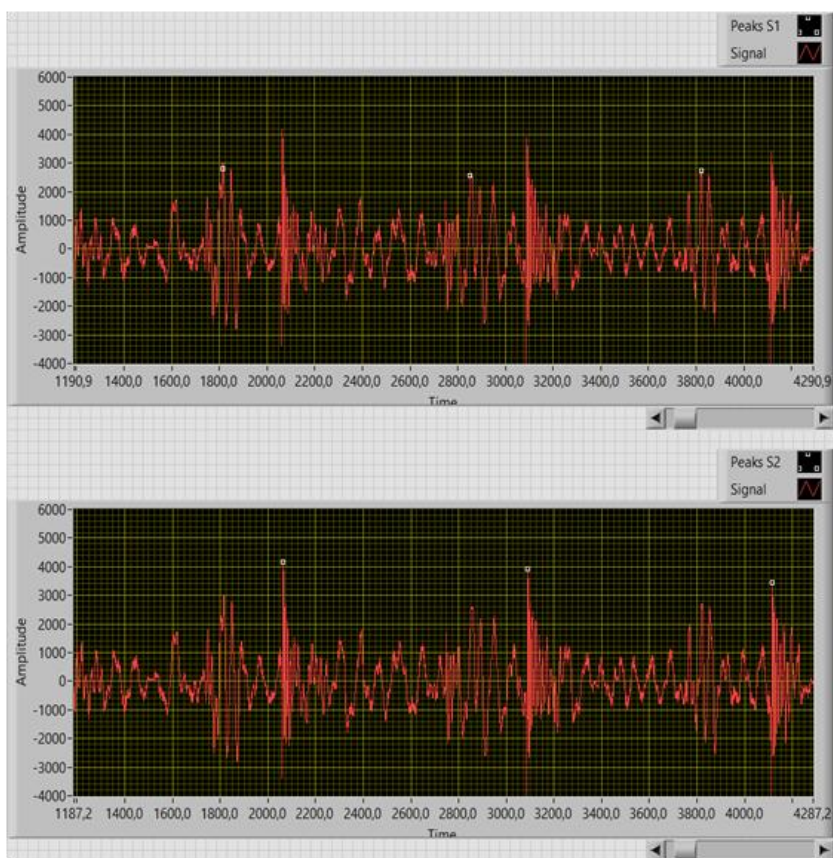
Dla zapewnienia możliwości stabilnego oraz powtarzalnego umieszczenia czujnika na klatce piersiowej pacjenta, zaprojektowano oraz wydrukowano na drukarce 3D dedykowaną obudowę. Składa się ona z czterech elementów, sprężyny oraz śruby z nakrętką. Po zmontowaniu, poprzez obrót nakrętki można regulować stopień wysunięcia wewnętrznej części obudowy, w której znajduje się czujnik, względem części zewnętrznej, która za pomocą specjalnej uprząży jest mocowana do ciała. Takie rozwiązanie pozwala na rejestrację sygnału o potrzebnej amplitudzie, niezależnie od tego, czy czujnik ma zostać umieszczony na anatomicznej wklęsłości, czy wypukłości ciała.



Rys. 3. System mocowania czujnika w dwóch skrajnych położeniach

Przetwarzanie oraz analizę rejestrowanego sygnału można podzielić na kilka etapów:

- filtracja dolnoprzepustowa,
- filtracja pasmowo-zaporowa,
- wstępna analiza pomiaru,
- wykrywanie oraz klasyfikacja szczytów fali,
- określenie częstości pracy serca,
- określenie regularności występowania tonów S1 oraz S2,
- określenie występowania dalszych tonów serca.



Rys. 4. Przebieg zarejestrowanej fali akustycznej z wyszczególnionymi przez algorytm pierwszymi i drugimi tonami serca

Filtracja dolnoprzepustowa została zastosowana w celu eliminacji wszelkich zakłóceń nie pochodzących od pracy serca. Za częstotliwość odcięcia przyjęto 60 Hz, ponieważ częstotliwość tonów fizjologicznie nie przekracza 50 Hz. Ponadto, zastosowano filtr pasmowo-zaporowy 50 Hz aby pozbyć się zakłóceń

pochodzących z sieci zasilającej. Analiza wyników badania jest wykonywana w środowisku programistycznym LabVIEW i rozpoczyna się od ustalenia minimalnej wysokości i szerokości szczytów fali, które zostaną uznane za tony serca. Następnie, w oparciu o założenie, że minimalny okres refrakcji komórek mięśnia sercowego wynosi 300 ms, natomiast zamknięcie zastawek przedsionkowo-komorowych poprzedza zamknięcie zastawki aortalnej oraz płucnej o średnio 160 ms [5], napisano algorytm klasyfikacji szczytów fali jako tony pierwsze lub drugie. Wyniki działania algorytmu przedstawia rysunek 4.

Po sklasyfikowaniu szczytów fali jako poszczególne tony, na podstawie indeksów czasu występowania tonów S1 obliczana jest częstość pracy serca oraz średnia długość cyklu. Na ich podstawie wysnuwany jest wniosek o ewentualnej bradykardii lub tachykardii. Ponadto, w celu określenia regularności skurczów, analizowane są osobno szczyty S1 oraz S2. Obliczane są różnice odległości poszczególnych tonów w kolejnych cyklach. Następnie, bazując na założeniu o fizjologicznej niemiarkowości oddechowej (czyli zwiększeniu szybkości pracy serca podczas wdechu oraz spowolnieniu przy wydechu) wynoszącej do 160 ms [4], określane jest występowanie arytmii. Nieregularności pracy serca mogą towarzyszyć całej gamie schorzeń, dlatego zawsze powinny być podstawą do pogłębionej diagnostyki.

WYNIKI

Danymi wyjściowymi napisanego programu jest wspomniana wcześniej częstość pracy serca, średnia długość cyklu oraz regularność występowania tonów pierwszych i drugich.

Średnia długość cyklu [ms]	Ilość uderzeń serca na minutę
789,474	76
Odsetek arytmii S1 [%]	Odsetek arytmii S2 [%]
58,7719	14,0351
Wskaźnik wystąpienia arytmii S1	Wskaźnik wystąpienia arytmii S2
8	0

Rys. 5. Zestawienie danych wyjściowych programu

Dwa umieszczone na dole wskaźniki pozwalają szczegółowo przejrzeć, w których cyklach wykryto arytmie. Okazało się to bardzo potrzebne, ponieważ u pacjentów wielokrotnie pojawiały się dodatkowe szczyty, których klasyfikacja

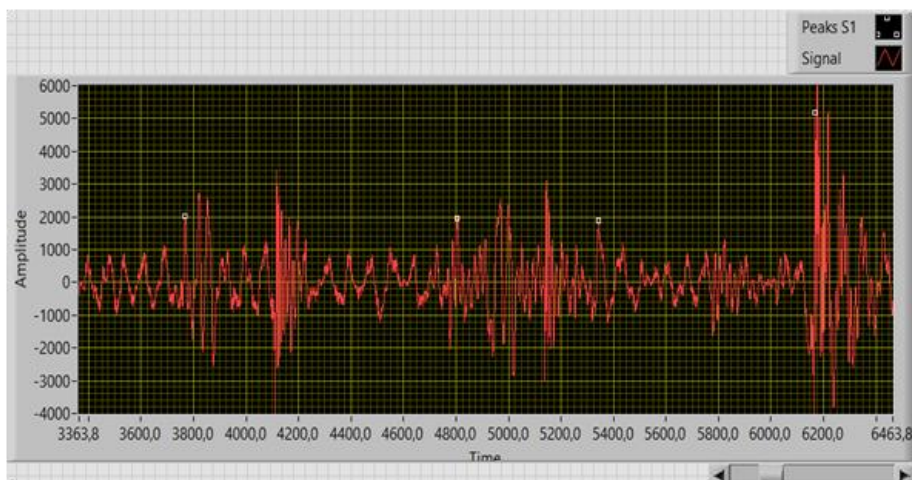
nastęcza trudności, ponieważ występują one po wspomnianym okresie 300 ms od tonu pierwszego więc mogą być zarówno tonem trzecim czy dalszym, jak również tonem pierwszym kolejnego cyklu. Dzięki tym wskaźnikom lekarz mógłby dokładnie przeanalizować nieregularne cykle i stwierdzić czy faktycznie wykazują cechy patologiczne.

Badania przeprowadzono u trzech pacjentów w zróżnicowanym wieku i kondycji fizycznej.

Tabela 1. Zestawienie wyników badań

	Pacjent 1	Pacjent 2	Pacjent 3
Wiek	14 l.	29 l.	78 l.
Płeć	Mężczyzna	Kobieta	Mężczyzna
Częstość pracy serca	63	59	69
Średnia długość cyklu	952,38	1016,95ms	869,57ms
Odsetek arytmii S1	28,57%	29,17%	43,48%
Odsetek arytmii S2	14,29%	25,00%	30,43%

U wszystkich pacjentów zarejestrowano prawidłową częstość pracy serca, jednak odsetek arytmii przekracza 25% właśnie z powodu pojawiających się dodatkowych, trudnych do zidentyfikowania dźwięków. Zgodnie z przewidywaniami, najwięcej nieregularności pojawiło się u pacjenta w podeszłym wieku. U pacjentki drugiej zauważono również niewielką bradykardię, która, jak wynika z wywiadu, jest związana z wyczynowym uprawianiem sportu. Potwierdzeniem jest także występowanie trzecich tonów serca w zarejestrowanym przebiegu fali fonokardiograficznej.



Rys. 6. Wykres pracy serca pacjentki 2

PODSUMOWANIE

Zaprezentowany system stanowi szybki i tani sposób badania kardiologicznego. Pozwala na wykrywanie tonów serca, których występowanie, częstość oraz regularność stanowią ważną podstawę diagnostyki. Mechaniczna część projektu obejmująca obudowę oraz uprząż dla czujnika pozwala na rejestrację sygnału w każdym obszarze klatki piersiowej pacjenta. Jest także dostosowana do osób o niewielkim lub znacznym wzroście oraz do pacjentów otyłych bądź kobiet ciężarnych.

Algorytm przetwarzania danych obejmujący klasyfikację szczytów fali, daje możliwość określenia występowania arytmii, będących wyznacznikiem ogólnej kondycji mięśnia sercowego. Lekarz ma możliwość dostosowania programu do fizjologii pacjenta poprzez zmianę wartości progu wykrywania szczytów, a także przewidywanej długości cyklu oraz tolerancji arytmii.

Zaprezentowany sposób badania może być wykorzystany do przesiewowej diagnostyki a także po ewentualnym zmniejszeniu obudowy – do długotrwałego monitorowania pracy serca odpowiadając niejako holterowi EKG.

LITERATURA

- [1] Bolechowski F., Chrościcki A., *Osluchiwanie serca i fonokardiografia*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1966
- [2] Konturek S., *Fizjologia człowieka, t. II, Układ krążenia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2000
- [3] Małecka-Massalska T., *Podstawy fizjologii, podręcznik dla studentów inżynierii biomedycznej*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2012
- [4] Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Mandeckiego: *Kardiologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Stryków, 2000
- [5] Michajlik A., Ramotowski W., *Anatomia i fizjologia człowieka*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Stryków, 2003
- [6] <https://www.intechopen.com/books/discrete-wavelet-transforms-biomedical-applications/computerized-heart-sounds-analysis>; zasoby z dnia 28.12.2018 r.

ENERGIA FOTOWOLTAICZNA JAKO ALTERNATYWNE ŹRÓDŁO ENERGII ELEKTRYCZNEJ

WSTĘP

Wraz z rozwojem cywilizacji zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie. Podstawowymi konwencjonalnymi źródłami energii elektrycznej takie jak np.: węgiel, ropa naftowa oraz gaz ziemny, ich złoża są ograniczone, a rosnące ceny tych paliw skłania naukowców a nawet cały nasz świat do poszukiwania alternatywnych źródeł energii elektrycznej [3].

Do alternatywnych źródeł (niekonwencjonalnej) zaliczamy: energię promieniowania słonecznego, energię wiatru, energię biomasy. Przy wykorzystaniu konwersji fotowoltaicznych możliwe jest wytworzenie czystej energii, w przeciwieństwie do konwencjonalnych źródeł energii które wprowadzają do naszego ekosystemu zanieczyszczenia.

Wykorzystując energię Słońca przy użyciu ogniw fotowoltaicznych możemy budować moduły, którymi zasilić system elektroenergetyczny w ten o to sposób zmniejszymy wydobycie konwencjonalnych źródeł energii zmniejszając zanieczyszczenie środowiska [2]. Instalacje fotowoltaiczne zdobywają zainteresowanie również u osób indywidualnych odbiorców energii, gdyż przy użyciu odpowiednich modułów fotowoltaicznych użytkownik sam jest producentem czystej energii elektrycznej niezbędnej do funkcjonowania w dzisiejszej dobie.

CHARAKTERYSTYKA ENERGETYCZNA – PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

Natężenie promieniowania, to całkowita moc promieniowania jaka pada na jednostkę pola powierzchni poziomej, która jest równa sumie natężenia promieniowania bezpośredniego w płaszczyźnie poziomej i natężenia promieniowania rozproszonego w płaszczyźnie poziomej [4].

SŁOŃCE

Słońce (gwiazda) to główne źródło energii, która dociera na powierzchnię Ziemi w ciągu 8 minut, choć odległość Słońca od Ziemi średnio wynosi 149,6 milionów km. Gwiazda to rozżarzona kula gazowa o masie własnej ok. $2 \cdot 10^{30}$ kg, temperaturze powierzchni ok. 5800 K. Słońce wagowo składa się z 71% wodoru i 27% helu. Wewnątrz słońca zachodzą przemiany termojądrowe w temperaturze ok. 15 milionów °C. Na każdą sekundę w przestrzeń kosmiczną

¹Politechnika Lubelska, WEiI, phabza@vp.pl

wypromieniowuje ono energię $3,8 \cdot 10^{26}$ J. Przekładając to na inną jednostkę daje to ok. $3,83 \cdot 10^{20}$ MW [3]. Cała energia nie dociera na powierzchnię Ziemi jest pochłaniana przez gazy oraz parę wodną która znajduje się w atmosferze. Dana energia promieniowania słonecznego wewnątrz naszej atmosfery to [4]:

- promieniowanie podczerwone zawierające 47% energii ($\lambda > 0,75 \mu\text{m}$),
- promieniowanie widzialne zawierające 44% energii ($\lambda = 0,4\text{--}0,75 \mu\text{m}$),
- ultrafiolet przenoszący 9% energii ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$).

Fale elektromagnetyczne przenoszące 98 % całkowitej energii o długości od $0,2 \mu\text{m}$ do $3,0 \mu\text{m}$ są podstawową częścią promieniowania słonecznego wewnątrz naszej atmosfery.

ENERGIA – PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

Aby wykorzystać energie promieniowania słonecznego musimy oszacować potencjalne i rzeczywiste zasoby energii na danym rejonie, parametryzację warunków atmosferycznych i metrologicznych. Dopasowanie do potrzeb technicznych przetwarzania energii słonecznej w inne formy energii takie jak: energię elektryczną, energię cieplną [4]. Natężenie promieniowania w górnych warstwach atmosfery możemy obliczyć z prawa Stefana-Boltzmana i wyrazić wzorem;

$$\Phi_e = \sigma S \varepsilon T^4 \quad (1)$$

gdzie: S – pole powierzchni świecącej [m^2], σ – stała Stefana-Boltzmana ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$), T – strumień mocy promieniowania ciała o temperaturze T .

Rozważmy prosty przykład. Przyjmijmy Słońce jako ciało doskonale czarne o $T = 5760 \text{ K}$ oraz promieniu $R = 7 \cdot 10^5 \text{ km}$, dzięki prawu Stefana-Boltzmana można obliczyć jakie jest natężenie w górnych warstwach. Nasza gwiazda emituje strumień promieni słonecznych (mocy) w kierunku Ziemi na daną jednostkę powierzchni w górnej warstwie atmosfery w odległości d – odległość od środka Słońca wynosząca ok. $1,5 \cdot 10^8$ – stała słoneczna wyniesie:

$$f = \frac{\sigma \cdot S \cdot T^4}{4\pi d^2} \quad (2)$$

Podstawiając odpowiednio $S=4\pi R^2$, gdzie R – promień Słońca, to otrzymamy ostatecznie:

$$f = 1360 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1,36 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad (3)$$

W promieniowaniu słonecznym, które dotrze do powierzchni Ziemi możemy wyróżnić 3 składowe:

- promieniowanie odbite, które powstaje na skutek odbić od otoczenia i elementów krajobrazu,
- promieniowanie rozproszone, które powstaje w skutek wielokrotnego załamania się promieni słonecznych na strukturach atmosferycznych,

- promieniowanie bezpośrednie, które pochodzi od widocznej tarczy słońca.

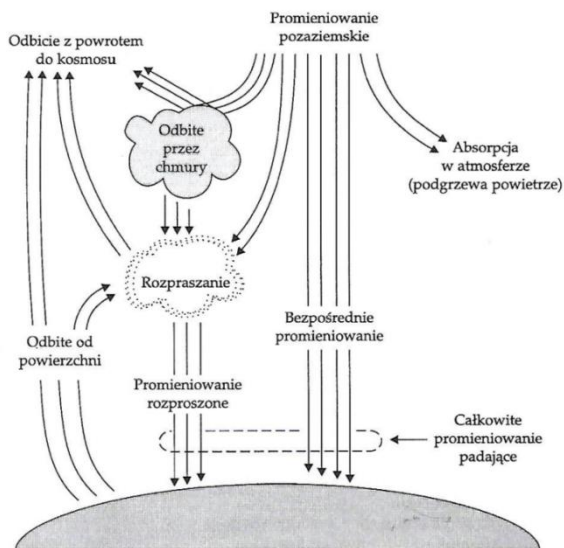
Promieniowanie słoneczne wyemitowane ze słońca docierająca do górnych warstw atmosfery jest pochłaniana bądź odbijana, 47% energii pochłaniają same morza oraz oceany, 30% bezpośrednio odbija się od naszej atmosfery która otacza ziemię, 23% zostaje pochłonięta w obieg hydrologiczny (opady, parowanie) [2, 3].

ENERGIA – DOCIERAJĄCA DO POWIERZCHNI ZIEMI

Ilość promieniowania (energii), które pada na powierzchnię ziemi zależy w dużym stopniu od przejrzystości powietrza (Rys. 1). Przejrzystość powietrza nie jest taka sama i ulega ciągłym zmianom. Podczas chłodnej pory roku przy dniach bezchmurnych ten parametr mieści się od 0,5 do 0,75. Te współczynniki w ciągu dnia ulegają zmianom w zależności od panujących warunków atmosferycznych jak i meteorologicznych. Najmniejsze współczynniki można zaobserwować z rana, po południu wartości te są największe. Mały współczynnik przejrzystości, który notujemy rano możemy wytłumaczyć dużym zawilgoceniem powietrza co skutkuje zamgleniem, które zalega w niskich partiach terenu. Innym dodatkowym efektem są zanieczyszczenia które znajdują się w powietrzu obserwowane najbardziej w dużych miastach o poranku po bezwietrznej nocy (smog). Wszystkie te czynniki wpływają na przejrzystość powietrza co skutkuje tym, iż docierające promienie słoneczne do powierzchni naszej ziemi ulegają zmniejszeniu a nawet absorpcji. W kolejnych częściach dnia za sprawą zmniejszającemu się zawilgoceniu oraz dzięki wiatrom, który wywołują ruch powietrza obserwujemy wzrost współczynnika przejrzystości. Po południowym wzroście współczynnik w dalszej części dnia ulega stopniowemu obniżeniu (pojawiające się zamglenia, siła wiatru się zmniejsza). Dla obszarów o małym kącie nachylenia promieni Słonecznych oraz przejściu przez grubsze warstwy atmosfery zaobserwować możemy spadek przejrzystości powietrza, gdyż promieniowanie rozproszone będzie większe od promieniowania bezpośredniego [4].

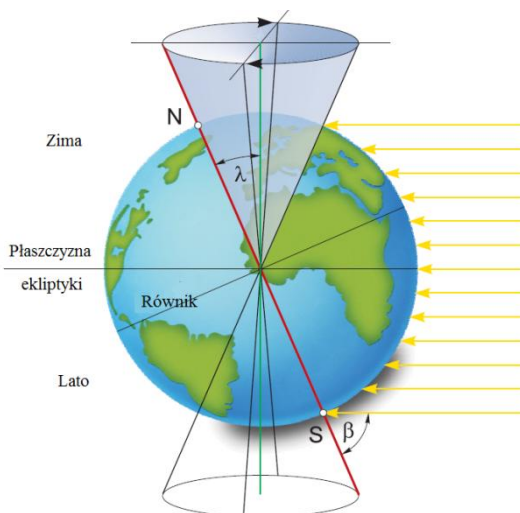
Podczas ciepłej pory roku przy dniach bezchmurnych ten parametr mieści się od 0,45 do 0,7. Przyczyną takiego współczynnika jest wysoka temperatura otoczenia, powietrza a w raz z nią duże ilości pary wodnej oraz wszelkiego rodzaju drobnych zanieczyszczeń np. unoszące się drobiny piasku.

Chmury, które są zbiorem drobin kurzy wraz z kropelkami wody lub kryształków lodu powstającej w skutek krystalizacji pary wodnej która jest zawarta w powietrzu skutecznie ograniczają oraz rozpraszają promienie słoneczne zwiększając tym promienie rozproszone docierające na powierzchnię Ziemi.

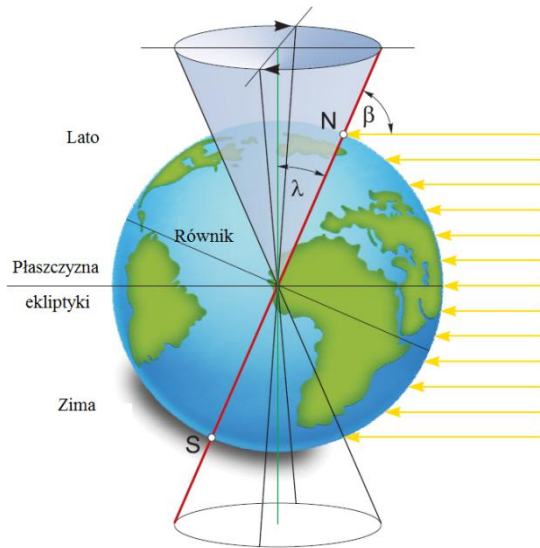


Rys. 1. Atmosfera Ziemi i jej wpływ na docierające promieniowanie słoneczne [4]

Najmocniej nasłonecznione obszary ziemi mieszczą się między 30° szerokości geograficznej północnej a 30° szerokości południowej. Bardzo ważny jest kąt nachylenia osi Ziemi gdyż ziemia nie obraca się wokół własnej osi prostopadle do płaszczyzny ekliptyki (wielkie koło na sferze niebieskiej, po którym w ciągu roku pozornie porusza się Słońce obserwowane z Ziemi) lecz jej oś jest nachylona pod kątem λ , która średnia wartość wynosi ok. $23,5^\circ$. Rysunki poniżej ukazują ruch obrotowy Ziemi.



Rys. 2. Ruch obrotowy osi ziemi wokół stożka, zima na półkuli północnej [9]

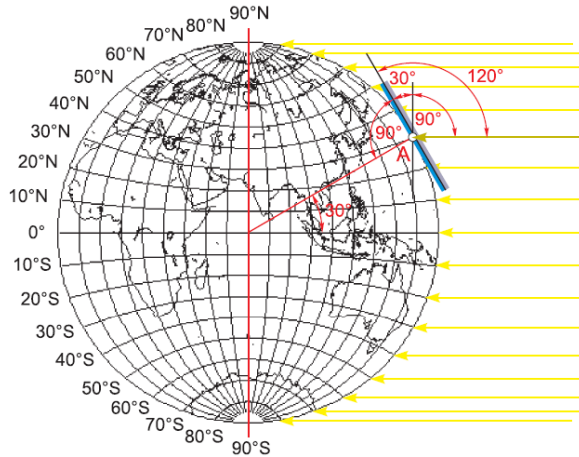


Rys. 3. Ruch obrotowy osi ziemi wokół stożka, lato na półkuli północnej [9]

Jak można wnioskować z rysunków 2 oraz 3 kąt padania promieni słonecznych na płaszczyznę ziemi oraz to, iż oś planety jest pochylona pod kątem λ ma ogromne znaczenie przy odbiorze energii słonecznej [2, 8].

KĄT PADANIA PROMIENI SŁONECZNYCH -POZYCJONOWANIE PANELI PV

Jak już wiemy dzięki ruchom planet, a także obrotu samej ziemi wokół własnej osi ekliptyki pod danym kątem możemy zaobserwować dzień, noc oraz pory roku. Panele słoneczne ich wydajność jest największa gdy są ustawione o kąt 90° do promieni słonecznych padających na panel. Panel słoneczny na półkuli północnej powinien być skierowany w kierunku południowym, natomiast panel znajdujący się na półkuli południowej skorygujemy tak aby był zorientowany na północ. Takie ustawienie paneli ich orientacja znana jest również pod nazwą azymutu. Całkowita orientacja obejmuje azymut, jak i kąt nachylenia α jak i kąt szerokości geograficznej φ . Z rysunku poniżej możemy odczytać, iż panel słoneczny ustawiony w punkcie A ustawiony jest w kierunku północnym, równoległe do ziemi. Jak widzimy padające promienie słoneczne na panel nie padają pod kątem 90° lecz pod większym a mianowicie 120° . Taki kąt padania będzie miał wpływ na konwersję fotowoltaiczną. Musimy skompensować kąt padania promieni tak aby na płaszczyźnie panelu uzyskać zadaną wartość 90° , lecz również pojawia się problem w jaki sposób korygować położenie paneli słonecznych w różnych porach roku w różnych szerokościach geograficznych. [2, 10]



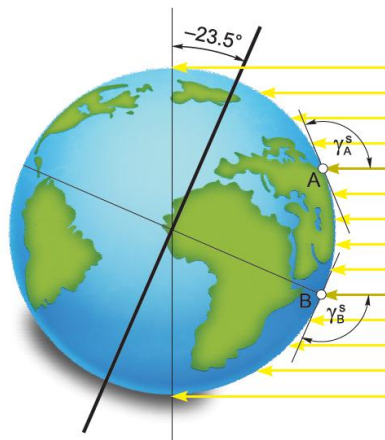
Rys. 4. Panel słoneczny a kąt padania promieni słonecznych 120° [10]

Porównajmy oba rysunki 5 oraz 6, widzimy zależność nie wynikającą z pory roku gdzie na punkt B wskazuje równik oraz promienie słoneczne padają pod tym samym kątem, więc:

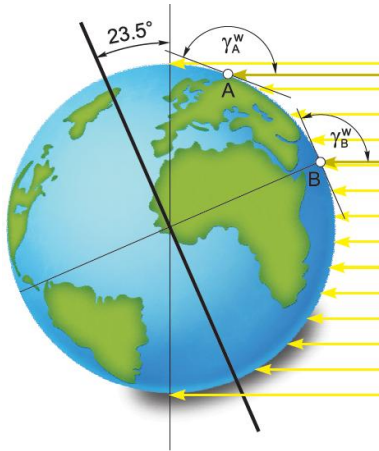
$$Y_B^S = Y_B^W \tag{4}$$

Dlatego w tych obszarach niezależnie od pory roku na równiku mamy taką samą pogodę. Porównajmy punkt A w sezonie letnim oraz zimowym, wnioskując z rysunków możemy organoleptycznie ocenić, że padające promienie słoneczne na punkt A w sezonie letnim są bliższe kątowi idealnemu (90°) natomiast w sezonie zimowym ten kąt jest zdecydowanie większy co daje nam zależność między kątami:

$$Y_A^S < Y_A^W \tag{5}$$



Rys. 5. Kąt padania promieni słonecznych na półkuli północnej, lato [9]



Rys. 6. Kąt padania promieni słonecznych na półkuli północnej, zima [9]

Wnioskując po różnych kątach nachylenia o różnych porach roku w różnych szerokościach geograficznych aby zoptymalizować i zwiększyć współczynnik sprawności panelu słonecznego musimy skorygować dany kąt tak aby był najbliższy ideałowi, optymalny kąt pochylenia α jest równy szerokości geograficznej do tego skorygowany o dany kąt korygujący podany w tabeli poniżej [2, 10].

Tabela 1. Wartości kątów korygujących

Szerokość geograficzna	Kąt korygujący	
	Lato	Zima
15° – 25°	0°	0°
25° – 30°	-5°	+5°
30° – 35°	-10°	+10°
35° – 40°	-15°	+15°
40° i więcej	-20°	+20°

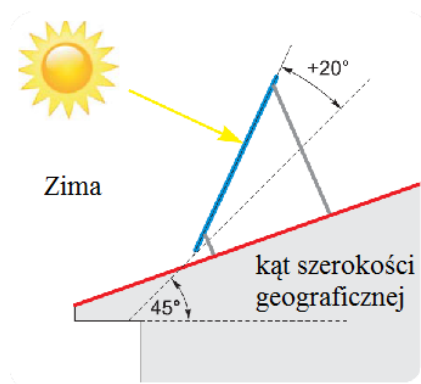
Orientacja całkowicie skorygowany reprezentuje formuła:

$$\alpha = \varphi + \text{kąt korygujący} \quad \text{azymut} = 180^\circ \quad (6)$$

Rozwiążmy przykładowe zadanie tego typu.

Nasz dom znajduje się na obszarze o szerokości geograficznej ok. 45° (Polska leży na półkuli północnej i wschodniej między 49°00' a 54°00') Dla zainstalowanych paneli słonecznych na dachu naszego domu, należy obliczyć optymalną orientację dla:

- sezonu zimowego,
- sezonu letniego.



Rys. 7. Pozycjonowanie paneli zima [9] (sezon zimowy)

Dane:

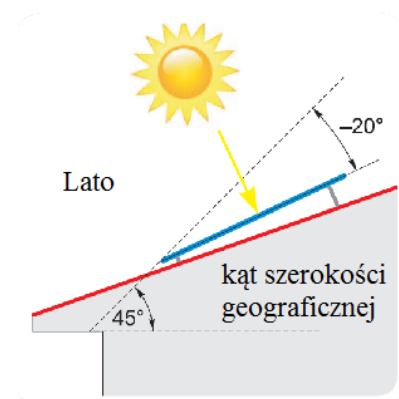
$$\varphi = 45^\circ$$

Kąt korygujący odczytany z tabeli wynosi $+20^\circ$

Obliczyć $\alpha = ?$

$$\alpha = \varphi + \text{kąt korygujący} \quad \alpha = 45^\circ + 20^\circ$$

$$\alpha = 75^\circ$$



Rys. 8. Pozycjonowanie paneli (sezon letni) [[9]]

Dane:

$$\varphi = 45^\circ$$

Kąt korygujący odczytany z tabeli wynosi -20°

Obliczyć $\alpha = ?$

$$\alpha = \varphi + \text{kąt korygujący} \quad \alpha = 45^\circ - 20^\circ$$

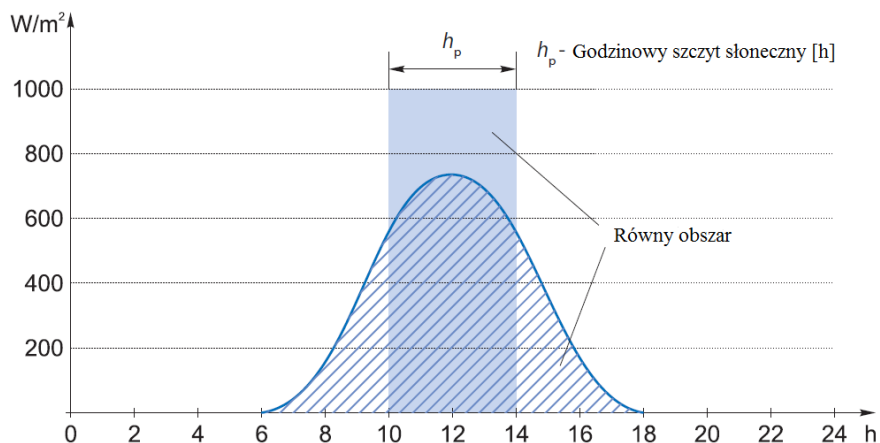
$$\alpha = 25^\circ$$

Z zadania możemy wywnioskować, iż umieszczenie paneli słonecznych na dachach domów czy budynkach dwa razy do roku po winne być korygowane aby dostosować kąt oraz położenie geograficzne w zależności od danego sezonu używając [2, 10] wartości kąta korygującego odczytanego z tabeli 1.

WARUNKI NASŁONECZNIENIA NA ZIEMI

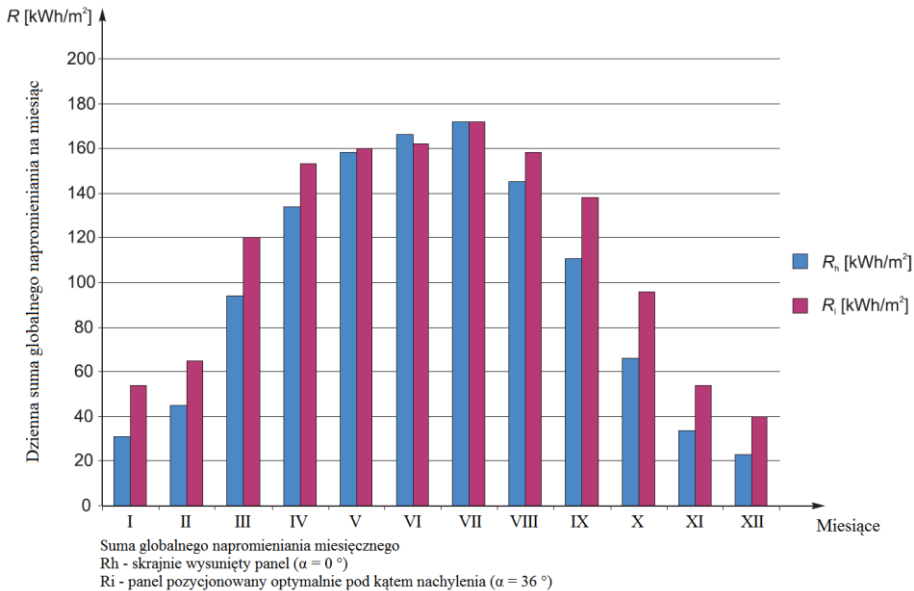
Nasz rok dzielimy na okres 12 miesięcy, w którym ilość nasłonecznienia, padanie promieni słonecznych na płaszczyznę ziemi jest różne. Więc i moc pozyskiwana z paneli słonecznych w danym miesiącu będzie różna, ba nawet możemy zauważyć to w każdym dniu. Stańmy o poranku przed świtem i skierujmy twarz w stronę wschodzącego słońca, powtórzmy to w południ oraz przy zachodzie słońca. Zauważymy na własnej skórze, że energia słoneczna odczuwalna przez nas jako ciepło będzie się różniła. Z rana przy wschodzie słońca czujemy lekkie ciepło tak jak i podczas zachodu, najwięcej ciepła odczuwamy w godzinach popołudniowych. Nie możemy również zapomnieć o naszym położeniu geograficznym a ta grze o różnego rodzaju zakłóceń np. duża wilgotność, duże zachmurzenie. Które wpływa negatywnie na uzyskaniu [2] energii słonecznej. Dla tego wprowadzono warunki testowe (STC), ustalono między narodowo metoda służąca porównania i oceny wydajności paneli bądź modułów fotowoltaicznych pod kątem wytwarzanej energii. Zgodnie z STC moc modułów jest wskazana w „Wp” (z ang. *Watt peak*) – watowy szczyt bądź moc szczytowa. Określa on moc dostarczoną w warunkach standardowych przeprowadzonych przez badanie STC którymi są [8]:

- temperatura modułu 25°C ,
- widmo słoneczne AM 1,5,
- promieniowanie słoneczne $1000/\text{m}^2$.



Rys. 9. Charakterystyka godzinowego szczytu słonecznego [8]

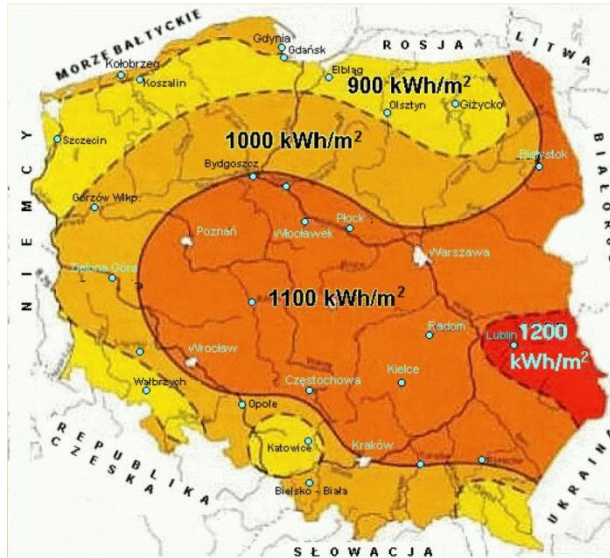
Oczywiście takie warunki są rzadko spotykane, poza paroma godzinami w południe w nasłonecznionych regionach. Stąd ten parametr nazywany jest „mocą szczytową”. Jedna godzina W_p bądź h_p jest równa liczbie godzin w ciągu dnia, gdy promieniowanie słoneczne a raczej jego natężenie wynosi 1 kW/m^2 . Przykład, 4-ro godzinowy szczyt słońca, oznacza to, że energia odebrana w ciągu danego całego dnia była by równa energii, która byłaby wytworzona jeżeli natężenie wynosiło by 1 kW/m^2 w ciągu czterech godzin.



Rys. 10. Wartość energii która pada na płaszczyznę horyzontalną w danym miesiącu [9]

Na diagramie z rysunku 10 przedstawiono w poszczególnych miesiącach wartość energii, która pada na płaszczyznę ziemi. Do tego porównane zostały dwa położenia paneli słonecznych R_h – panel skrajnie wysunięty oraz R_i – panel pozycjonowany. Jak zauważyć można panel pozycjonowany odebrał dużo więcej energii słonecznej w miesiącach I, II, III, IX, X, XI oraz XII. Wynika to iż promienie słoneczne padające na płaszczyznę w tych miesiącach są na tyle słabe i ich energia uzyskana z paneli niepozycjonowanych jest o $\frac{1}{2}$ mniejsza od paneli pozycjonowanych. Natomiast w miesiącach od IV do VIII ich różnice są niewielkie. Wnioski w okresach zimowych oraz opłacalne jest pozycjonowanie paneli słonecznych w celu uzyskania jak największej energii słonecznej.

Na rysunku 11 zostały przedstawione najsilniej nasłonecznione regiony Polski.



Rys. 11. Mapa godzinnego szczytu słonecznego w Polsce [10]

Obliczmy przykładową energię elektryczną, którą wytworzy duży panel słoneczny charakteryzujący się wielkością 30 m^2 oraz mocy $5,7 \text{ kW}$ [8].

Dane wejściowe to:

$$P_p - \text{moc panelu} = 5,7 \text{ kW}$$

$$h_p - \text{godzinowy szczyt słoneczny} = 3,5 \text{ h}$$

$$a - \text{powierzchnia panelu} = 30 \text{ m}^2$$

Do obliczenia są:

$$E_d - \text{energia wytworzona przez panel w ciągu dnia} = ?$$

$$E_r - \text{energia wytworzona przez panel w ciągu roku} = ?$$

$$\text{Zatem przyjmując że } E_d = P_p \cdot h_p$$

$$E_d = 5,7 \text{ kW} \cdot 3,5 \text{ h}$$

$$E_d = 19,95 \text{ kWh/dzień}$$

$$E_r = E_d \cdot 365 \text{ dni}$$

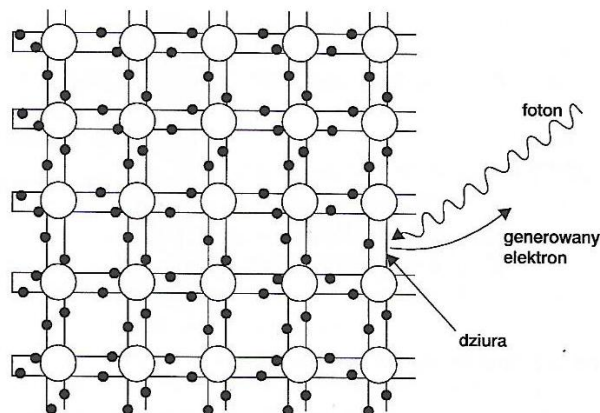
$$E_r = 19,95 \text{ kWh/dzień} \cdot 365 \text{ dni}$$

$$E_r = 7281,75 \text{ kWh.}$$

EFEKT FOTOWOLTAICZNY

Zjawisko konwersji jako zjawisko fizyczne zaobserwowano już w XIX wieku. W 1839 roku przez A. E. Becquerela w laboratorium Bella (USA), który badał zachowanie się ciał stałych w elektrolicie. Zauważył on, iż przy odpowiednim naświetlaniu jednej z dwóch elektrod zbudowanych z tego samego materiału zanurzonych w elektrolicie, między elektrodami pojawi się napięcie elektryczne.

Efektom fotowoltaicznym nazywamy absorpcje światła słonecznego. W półprzewodnikach zachodzi to po przez uwolnienie wiązań chemicznych międzyatomowymi. W materiale półprzewodnikowym wytwarza się swobodny elektron, należy mu wtedy dostarczyć pewną ilość energii, która wynosi co najmniej i jest równy energii przerwy energetycznej np. dla krzemu o temperaturze 300 K $E_g = 1,12$ eV [2,3].

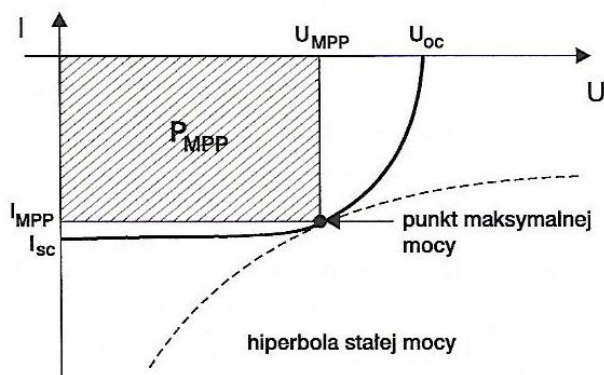


Rys. 12. Foton o energii $h\nu > E_g$, generowanie par elektron-dziura [4]

Dziura pozostawiona po uwolnionym elektronie posiada ładunek dodatni, który umożliwi poruszanie (dyfuzja lub pole elektryczne). Półprzewodnik typu p oraz półprzewodnik typu n z ich obszarów utworzy się złącze p-n. To ich nośniki (ładunek) przemieszczą się w sposób, iż poziom Fermiego (poziom w kryształ) będzie jednakowy. Powstające nośniki w odległości, która jest nie większa od bariery potencjału od drogi dyfuzyjnej, dojdą do bariery potencjału (ruchem dyfuzyjnym) tam pod wpływem pola elektrycznego (obecne złącze) zostają rozdzielone. Powstałe pole przesuwa każde z nośników w kierunku przeciwnym – elektrony przemieszczą się do obszaru n, natomiast dziury przemieszczą się do obszaru p. W ten o to sposób przy takim rozdzieleniu ładunków powstaje różnica potencjału V_f w poprzek naszego złącza, co za tym idzie dla obwodu zamkniętego powstanie prąd fotoelektryczny I_f o danym kierunku przepływu co prąd I_{so} – (również jak I_{so} niezależny od szerokości bariery potencjału). Poniższy rysunek przedstawia charakterystykę oświetlonego złącza p-n [2,[3]]:

$$I = I_D - I_{so} - I_f = I_{so} \cdot \exp \frac{U}{V_T} - I_{so} - S_E \cdot E = I_{so} \left(\exp \frac{U}{V_T} - 1 \right) - S_E \cdot E \quad (7)$$

gdzie: I_D – nośniki większościowe, natężenie prądu dyfuzyjnego, I_{so} – nośniki mniejszościowe generowane termicznie, natężenie prądu, I_f – nośniki mniejszościowe generowane fotoelektrycznie, natężenie prądu, S_E – złącze p-n, czułość fotoelektryczna.



Rys. 13. Ogniwo krzemowe, charakterystyka prądowo-napięciowa [4]

BUDOWA OGNIW FOTOWOLTAICZNYCH

Najpowszechniejszym materiałem produkcyjnym ogniw fotoelektrycznych jest krzem. Krzem to półprzewodnik o charakteryzującym go skośnej przerwie energetycznej, zaletą tego również jest współczynnik absorpcji optycznej, która zwiększa się wraz ze wzrostem fotonów lecz powoli ponad krawędź absorpcji.

Zaraz po węglu krzem jest najbardziej rozprzestrzenionym pierwiastkiem na kuli ziemskiej. Pierwiastek ten odkrył J. J. Berzelius w roku 1824 w Sztokholmie. W skorupie ziemskiej zawarte jest ok. 25% krzemu bądź jego związki np. glina, skały oraz w glebie. Dzięki temu jest związkiem szeroko stosowany w przemyśle. Zalety krzemu:

- jego występowanie jest powszechne i stanowi ok. 1/3 naszej skorupy ziemskiej,
- przyjazny dla środowiska, nietoksyczny,
- prostota w formowaniu oraz mieleniu,
- właściwości elektryczne nie ulegają zmianom do temperatury 125°C, dzięki czemu stosowany jest w półprzewodnikach przy trudnych eksplantacji.

Krzem sam w sobie jest bardzo czystym pierwiastkiem dochodzącym do 99.999999% czystości. Najczystszy krzem uzyskiwany jest (produkcja) z piasku (SiO_2), otrzymywany z specjalnych pieców w temperaturze dochodzącej do 1800 °C w procesie redukcji. Przy takiej produkcji jego czystość zawiera się w granicach (98–99) % materiału (czystego krzemu). Do wytworzenia 1 kg krzemu potrzebujemy od 15–25 kWh energii elektrycznej [5].

Ogniwa monokrystaliczne możemy uzyskać z:

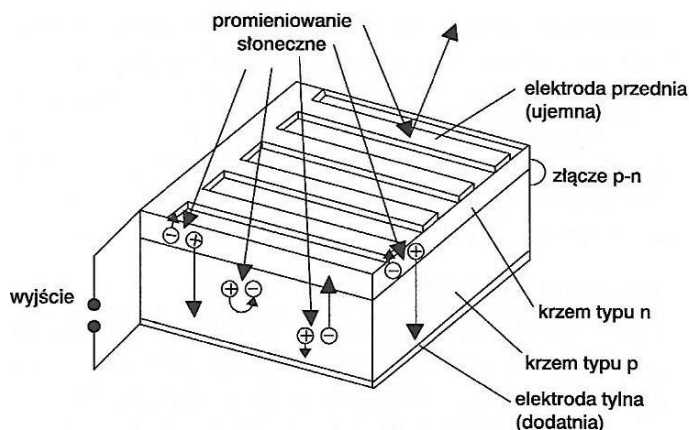
- fazy stałej – w procesach geologicznych,
- fazy ciekłej – wyciągnięcie i odparowanie cieczy z stopionego materiału,
- fazy pary – metoda gazowa.

Najpopularniejszą metodą tworzenia kryształu jest metoda Czochralskiego, opracował tą metodę w 1916 roku przypadkowo, gdyż zamiast zanurzyć swoje pióro do kałamarzu zanurzył w tyglu z roztopioną cyną, która wyjmując stygła. Aby urósł kryształ musimy posiadać zarodek – niewielki czysty od skaży kryształ krzemu, który będzie protoplastą tworzenia się pręta monokryształu. Metody wytwarzania monokryształu [3]:

- metoda Czochralskiego,
- metoda Bridgmana,
- topnienie strefowe.

Rysunek poniżej przedstawia budowę ogniwa fotowoltaicznego:

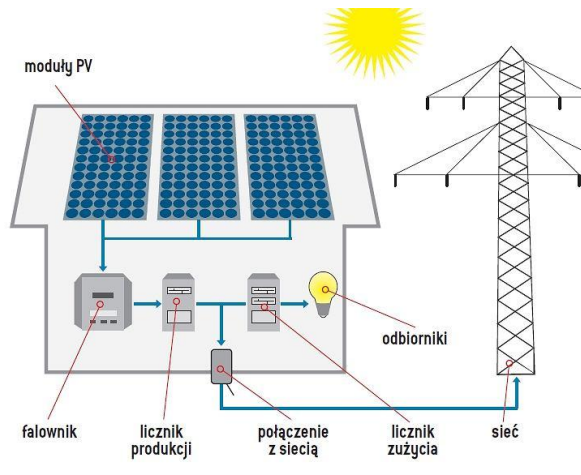
- złącze p-n utworzone z płytek krzemowych monokrystalicznej lub polikrystalicznej,
- elektroda przednia oraz tylna (kontakt), elektroda przednia ukształtowana w sposób taki by najwięcej promieniowania słonecznego padając docierało do obszaru naszego złącza,
- przednia powierzchnia ogniwa pokryta warstwą antyodblaskowej.



Rys. 14. Budowa i działanie fotowoltaicznego ogniwa [4]

MODUŁ PV

Moduły PV to najmniejszy zestaw modułu fotowoltaicznego wzajemnie połączonych ogniw, w ich skład wchodzi również mechaniczna konstrukcja, która zabezpiecza moduły PV przed czynnikami atmosferycznymi. W standardowych warunkach jedno ogniwo słoneczne w warunkach badań przeprowadzonych przez STC może uzyskać napięcie w granicach (0,5–0,9) V. Do uzyskania wyższych napięć koniecznością jest łączenie paneli słonecznych szeregowo. Przy podłączeniu w szereg 36 modułów PV wykonanych z krystalicznego krzemu możemy uzyskać ok. (15–16) V, a więc im więcej połączonych modułów tym otrzymane napięcie na wyjściu jest wyższe [2, 5].

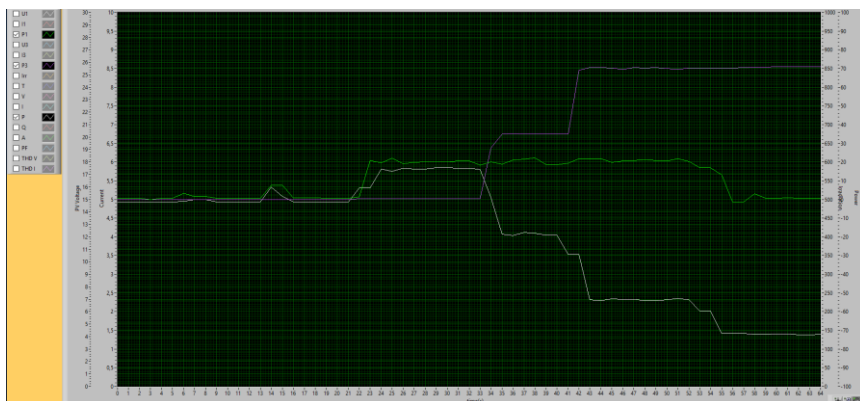


Rys. 15. Schemat modułu PV sprzężonego z siecią energetyczną [5]

WYKONANIE POMIARÓW – ENERGII ELEKTRYCZNEJ UZYSKANEJ DZIĘKI PANELOWI FOTOWOLTAICZNEMU

Dzięki stanowiskowi badawczemu, które znajduje się w Laboratorium Jakości Energii na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki w Katedrze Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń na Politechnice Lubelskiej. Zrealizowano pomiary wytwarzanej energii przez panel fotowoltaiczny (85 W, 12 V) oraz pobranej z sieci, obserwując zachowania się systemu energetycznego.

Wytwarzając energię z panelu słonecznego, jak i pobierając energię z sieci elektroenergetycznej zmierzono, energię elektryczną wytwarzaną przez panel słoneczny i dostarczoną do sieci elektroenergetycznej oraz energię pobraną z sieci zasilającej. Do pomiaru wytwarzanej energii oraz pobranej z sieci w tym podpunkcie jako źródło wytwarzanej energii wykorzystano panel słoneczny.



Rys. 16. Charakterystyka otrzymana funkcji czasu oraz mocy wytwarzanej i pobieranej [2]

Naszym źródłem wytwarzania energii jest panel słoneczny, odbiory to lampy halogenowe wpięte w szereg. P – odpowiada za moc pobieraną z sieci energetycznej. P_2 – odpowiada za moc dostarczoną z panelu słonecznego. P_3 – odpowiada za moc, którą pobiera obciążenie. Zaobserwowano cztery charakterystyczne zmiany. Pierwsza z nich to wytworzenie odpowiedniej mocy z panelu po przez jego naświetlanie i synchronizacja z siecią energetyczną, brak odbioru w postaci lamp. Moc panelu osiągnęła około 20 W przy tym samym moc pobierana z sieci zmieniła wartość z 0 do około -18 W, wynika to z tego, że wyprodukowana energia jest oddawana do sieci lecz nie cała, gdyż w falowniku nastąpi spadek energii. Druga zmiana związana z włączeniem obciążenia w postaci lampy halogenowej, która pobiera ok. 35 W. Wytwarzana energia nie ulega zmianie lecz moc pobierana z sieci wzrosła do ok. 18 W, co świadczy o tym, że nie pobieramy z sieci tyle energii aby zasilić żarówkę tylko wspomagamy się wytwarzaną energią. Trzecia zmiana odpowiada włączeniu dwóch odbiorników (lamp halogenowych), pobór mocy przez obciążenie rośnie do ok. 70W. Wytwarzana energia pozostaje bez zmian, natomiast energia pobierana z sieci rośnie i osiąga ok. 54 W. Czwarta zmiana polegająca na włączonych dwóch obciążeniach z jednoczesnym, wyłączeniem panelu słonecznego (brak wytwarzanej mocy). Energia pobierana przez obciążenie jest stała, moc pobierana z sieci rośnie i wyrównuje moc pobieraną przez odbiorniki. Odbiorniki są zasilane tylko z sieci energetycznej.

PODSUMOWANIE

Cywilizacja naszego globu rozwija się. Do wzrostu potrzeba energii, i zapotrzebowania na surowce, z których można otrzymać energię w procesie jej obróbki (mowa o paliwach konwencjonalnych np. węgla). Złoża paliw nie są nieskończone. Dlatego energia powstała ze źródeł odnawialnych jest bardzo korzystna gdyż jego złoża (w postaci przetworzonej energii) jak sama nazwa mówi są odnawialne. Budowa farm wiatrowych oraz farm fotowoltaicznych przynosi czystą i odnawialną energię.

LITERATURA

- [1] Janik P., *Photovoltaic power generation assessment based on advanced signal processing and optimization techniques*. Oficjalne Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej 2012
- [2] Habza P., *Budowa stanowiska laboratoryjnego do badań źródeł fotowoltaicznych*, praca dyplomowa, Politechnika Lubelska, 2019 r.
- [3] Klugmann E., Klugmann-Radziemska E., *Alternatywne źródła energii energetyka fotowoltaiczna*, Wyd. Ekonomia i Środowisko 1999
- [4] Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wyd. BTC 2010
- [5] Łotocki H., *ABC systemów fotowoltaicznych sprzężonych z siecią energetyczną. Poradnik dla instalatorów*, Wyd. KaBe 2011

- [6] [ladnydom.pl/budowa/1,106578,15570961, Instalacja_fotowoltaicznajakiekosztyajakie.html](http://ladnydom.pl/budowa/1,106578,15570961,Instalacja_fotowoltaicznajakiekosztyajakie.html), zasoby z dnia 14.05.2019r.
- [7] <http://bc.wydawnictwo-tygiel.pl/public/assets/88/ost%20wer%20OZE.pdf>, zasoby z dnia 14.05.2019r.
- [8] [https://www.szkolnictwo.pl/szukaj, *Ekliptyka*](https://www.szkolnictwo.pl/szukaj,Ekliptyka), zasoby z dnia 14.05.2019r.
- [9] Instrukcja użytkowania 021216_SOLAR-D1_ING manual
- [10] Katalog SOLAR-D1 ING - Vers 2013
- [11] *Wykorzystanie energii słonecznej*, *Slonce_Podaz_energii.pdf*, <http://www.ely.pg.gda.pl>, zasoby z dnia 20.05.2019.

BADANIE UKŁADU ZŁOŻONEGO Z DWÓCH MASZYN INDUKCYJNYCH W ASPEKTCIE PRACY PRĄDNICOWEJ

WSTĘP

W obecnych czasach obserwuje się zwiększone zainteresowanie i zapotrzebowanie na źródła odnawialnej energii. Najważniejszymi grupami odnawialnych źródeł energii są: energia grawitacyjna wody (wytwarzająca energię w elektrowniach wodnych), energia wiatru (wytwarzająca energię elektryczną w elektrowniach wiatrowych), energia słoneczna (wykorzystywana w elektrowniach słonecznych) oraz takie jak biopaliwa i energia geotermalna.

Z uwagi na wzrost zapotrzebowania na OZE w gospodarce energetycznej całego świata rozwijane oraz unowocześniane są technologie i układy specjalizujące się w przetwarzaniu energii z powyższych źródeł na energię elektryczną. W układach tych ze względu na relatywnie niski koszt inwestycji i eksploatacji, a także prostą konstrukcję i niezawodność działania często stosuje się maszyny indukcyjne zwane również asynchronicznymi, wykorzystywanymi w aspekcie pracy prądnicowej. Powyższe zalety generatorów indukcyjnych wpływają na szerokie zastosowanie ich w układach małej, średniej i dużej mocy, [1, 2, 3].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie badania prądnicy synchronicznej dwustopniowej, które było jednym z głównych przedmiotów badań wykonywanych w ramach pracy inżynierskiej.

BADANIA PRĄDNICY SYNCHRONICZNEJ DWUSTOPNIOWEJ



Rys. 1. Zespół maszyn elektrycznych będących przedmiotem badań [1]

¹Politechnika Lubelska, WEiI, lukasss1994@gmail.com

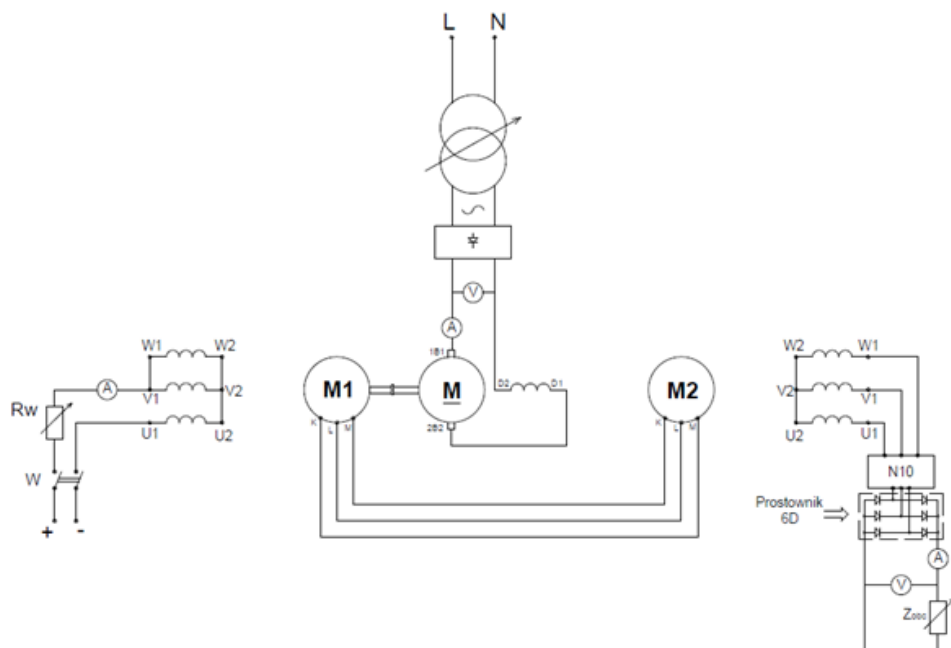
Zespół maszynowy składa się z dwóch maszyn indukcyjnych pierścieniowych oraz umieszczonej w środku maszyny prądu stałego.

Parametry znamionowe maszyn indukcyjnych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane znamionowe silników indukcyjnych [1]

Silnik indukcyjny pierścieniowy							
Typ: S7UDB248				Stojan		Wirnik	
nr fabryczny silnika	P_N	n_N	$\cos\phi_N$	U_N	I_N	U	I
	kW	obr/min	-	V	A	V	A
29227	1,1	1375	0,76	220/380	5/2,9	35	23
44891	1,1	1375	0,76	220/380	5/2,9	35	23

Niniejsza część pracy poświęcona będzie badaniu prądnicy synchronicznej z podwójnym uzwojeniem wirnika. Idea ta inspirowana była publikacją wydaną przez Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice, umieszczoną w [4].



Rys. 2. Schemat badanego układu prądnicy synchronicznej dwustopniowej [1]

L – przewód fazowy, N – przewód neutralny, W – wyłącznik nożowy, R_w – rezystor wodny, U1, V1, W1 – początki uzwojeń stojana maszyn indukcyjnych, U2, V2, W2 – końce uzwojeń stojana maszyn indukcyjnych, K, L, M – zaciski wyprowadzeń uzwojenia wirnika maszyn indukcyjnych, M1 – maszyna indukcyjna o [nr fab.

29227], M2 – maszyna indukcyjna o [nr fab. 44891], M – maszyna prądu stałego (silnik szeregowy), 1B1–2B2 – uzwojenie biegunów komutacyjnych, D1-D2 – uzwojenie wzbudzające szeregowe, Z_{obc} – obciążenie, N10 – miernik parametrów sieci

Uzwojenie stojana maszyny indukcyjnej M1 zasilono z sieci napięcia stałego poprzez rezystor wodny. Między zaciskami napięcia stałego a opornika wodnego umieszczono wyłącznik nożowy W. Za pomocą rezystora wodnego regulowano prąd wzbudzenia, który podczas wszystkich pomiarów wynosił $I_w = 3A$. Silnik szeregowy zasilono z sieci napięcia przemiennego za pośrednictwem autotransformatora oraz układu prostowniczego. Maszynę M1 oraz maszynę M2 połączono wirnikami (K, L, M). Ponadto maszyna M1 połączona była wałami z maszyną M – silnikiem szeregowym, który służył jako napęd, połączenie to zrealizowane zostało za pomocą skręcanego sprzęgła. Prostownik 6D służył do prostowania napięcia generowanego przez prądnicę. Regulacja obciążenia realizowana była poprzez płynną zmianę impedancji Z_{obc} .

Pomiary przeprowadzono napędzając prądnicę do następujących prędkości obrotowych n : (750, 900, 1000, 1100, 1200) obr/min. Dla każdej z powyższych prędkości stopniowo ją obciążano.

Stanowisko oraz układ połączeń prądnicy synchronicznej dwustopniowej zamieszczono na poniższym Rys.3.



Rys. 3. Widok stanowiska pomiarowego wraz z zespołem maszynowym [1]

WYNIKI

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów prądnicy synchronicznej dwustopniowej zrealizowanej wg. koncepcji przedstawionej w [4].

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla prądnicy synchronicznej dwustopniowej przy $n=750$ obr/min, $I_W=3A$ [1]

L.p.	Silnik szeregowy				Miernik parametrów sieci N10				Obwód prądu stałego		
	f	U_{sz}	I_{sz}	P_{insz}	U_2	I_2	P_2	$\cos\phi_2$	U_{DC}	I_{DC}	P_{DC}
	Hz	V	A	W	V	A	kW	-	V	A	W
1	50	60	3,1	186	242,1	0	0	-	272	0	0
2	50,5	80	4,35	348	225,7	0,35	0,12	0,9	244	0,45	109,8
3	49,5	88	5	440	207,3	0,58	0,18	0,89	218	0,7	152,6
4	50	92	5,4	496,8	195	0,76	0,23	0,88	200	1	200
5	49,5	100	5,8	580	171	0,98	0,25	0,87	160	1,25	200
6	50	104	6,1	634,4	153,4	1,14	0,25	0,85	145	1,5	217,5
7	50,5	105	6,3	661,5	135,8	1,28	0,25	0,84	123	1,7	209,1
8	50	105	6,3	661,5	103	1,46	0,21	0,81	85	2	170

Tabela 3. Wyniki pomiarów dla prądnicy synchronicznej dwustopniowej przy $n=900$ obr/min $I_W=3A$ [1]

L.p.	Silnik szeregowy				Miernik parametrów sieci N10				Obwód prądu stałego		
	f	U_{sz}	I_{sz}	P_{insz}	U_2	I_2	P_2	$\cos\phi_2$	U_{DC}	I_{DC}	P_{DC}
	Hz	V	A	W	V	A	kW	-	V	A	W
1	61	48	3	144	296	0	0	-	330	0	0
2	60	94	4,5	423	268,9	0,17	0,17	0,9	290	0,5	145
3	60,5	106	5,3	561,8	246,5	0,26	0,26	0,89	258	0,85	219,3
4	60	116	5,9	684,4	207	0,32	0,32	0,87	202	1,3	262,6
5	60	120	6,1	732	177	0,32	0,32	0,85	165	1,6	264
6	60,5	118	6,2	731,6	156,3	0,3	0,3	0,84	140	1,8	252
7	60	120	6,2	744	139,2	0,28	0,28	0,83	120	1,95	234
8	60	120	6,2	744	124,5	0,26	0,26	0,82	100	2,05	205

Tabela 4. Wyniki pomiarów dla prądnicy synchronicznej dwustopniowej przy $n=1000$ obr/min $I_W=3A$ [1]

L.p.	Silnik szeregowy				Miernik parametrów sieci N10				Obwód prądu stałego		
	f	U_{sz}	I_{sz}	P_{insz}	U_2	I_2	P_2	$\cos\phi_2$	U_{DC}	I_{DC}	P_{DC}
	Hz	V	A	W	V	A	kW	-	V	A	W
1	67,5	70	3	210	326	0	0	-	360	0	0
2	67	104	4,7	488,8	299	0,46	0,21	0,9	320	0,55	176

3	67	114	5,2	592,8	281	0,65	0,28	0,89	295	0,8	236
4	67,5	128	6	768	223	1,1	0,36	0,87	220	1,4	308
5	67	130	6,1	793	194,5	1,27	0,36	0,85	182	1,65	300,3
6	67	129	6,2	799,8	161,2	1,44	0,33	0,84	142	1,9	269,8
7	67	128	6	768	141,4	1,51	0,3	0,83	120	2,1	252
8	66	127	6	762	129,9	1,55	0,28	0,82	105	2,15	225,75

Tabela 5. Wyniki pomiarów dla prądnicy synchronicznej dwustopniowej przy $n=1100$ obr/min, $I_W=3$ A [1]

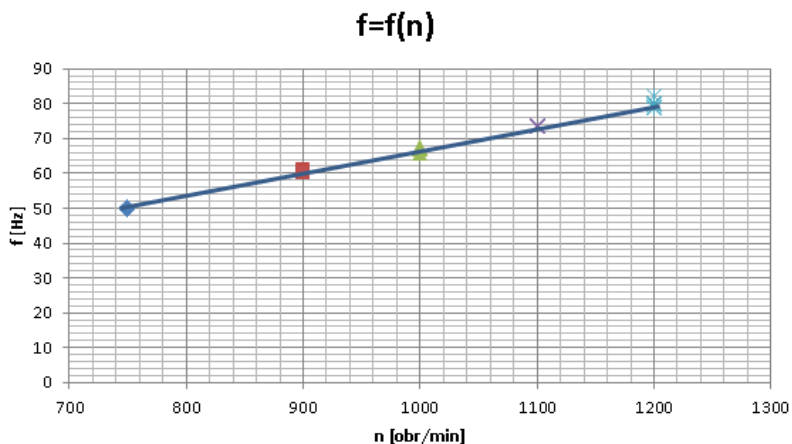
L.p.	Silnik szeregowy				Miernik parametrów sieci N10				Obwód prądu stałego		
	f	U_{sz}	I_{sz}	P_{insz}	U_2	I_2	P_2	$\cos\phi_2$	U_{DC}	I_{DC}	P_{DC}
	Hz	V	A	W	V	A	kW	-	V	A	W
1	73,5	80	3	240	357,5	0	0	-	400	0	0
2	73,5	120	5	600	317	0,57	0,28	0,9	340	0,7	238
3	73,5	132	5,75	759	285	0,86	0,37	0,88	295	1,1	324,5
4	73,5	140	6,1	854	225	1,24	0,41	0,86	215	1,6	344
5	73,5	142	6,2	880,4	184,1	1,44	0,38	0,84	165	1,9	313,5
6	73,5	140	6,1	854	166,3	1,5	0,36	0,84	145	2	290
7	73,5	138	6	828	152,8	1,55	0,33	0,83	130	2,1	273
8	73,5	136	6	816	135,5	1,6	0,3	0,82	110	2,2	242

Przykładowe obliczenia:

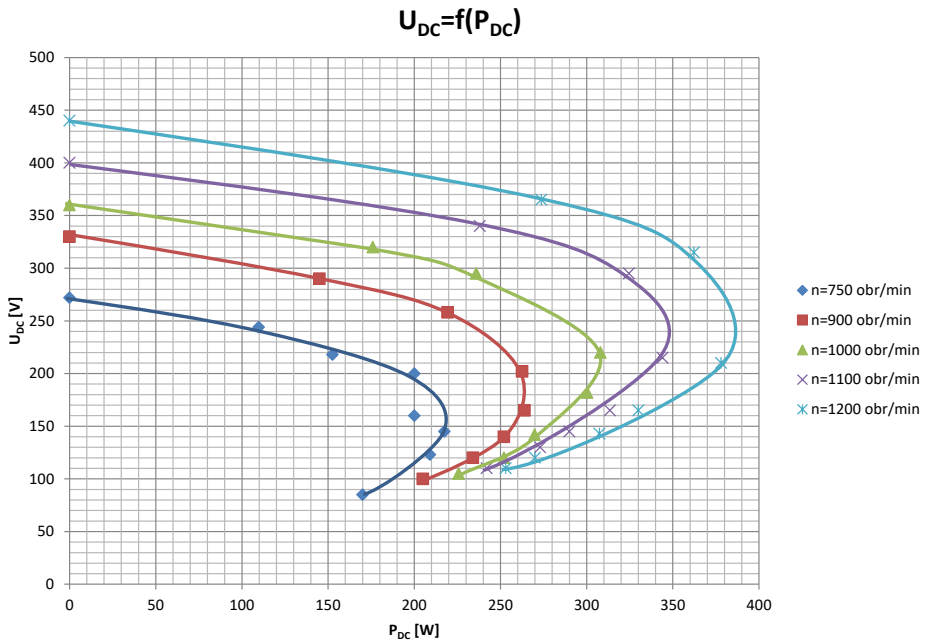
$$P_{insz} = U_{sz} \cdot I_{sz} = 132 \cdot 5 = 660 \text{ [W]}$$

$$P_{DC} = U_{DC} \cdot I_{DC} = 365 \cdot 0,75 = 273,75 \text{ [W]}$$

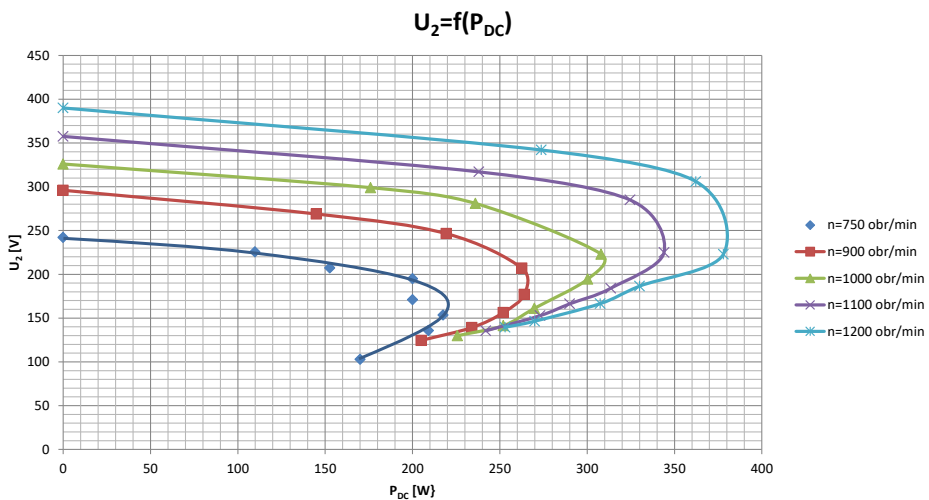
P_{insz} - moc dostarczana do silnika szeregowego, P_2 - moc czynna wskazana przez miernik N10, P_{DC} - moc po stronie obciążenia.



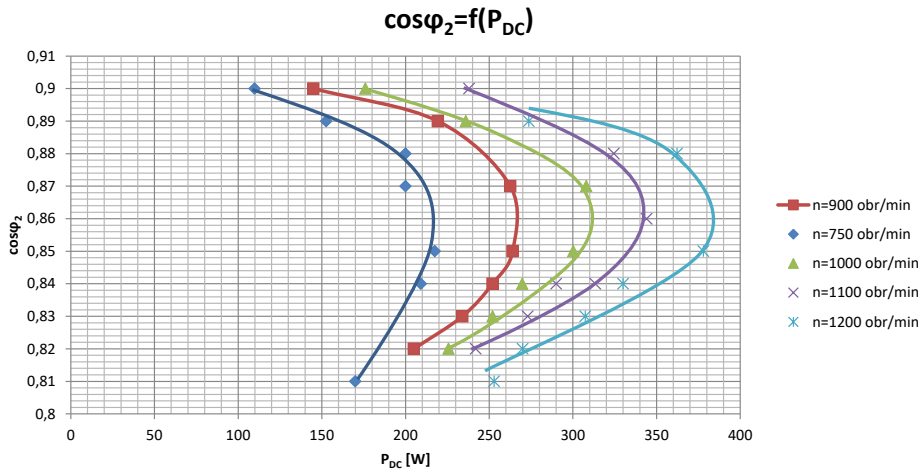
Rys.4. Charakterystyka częstotliwości generowanego napięcia f w zależności od prędkości obrotowej n [1]



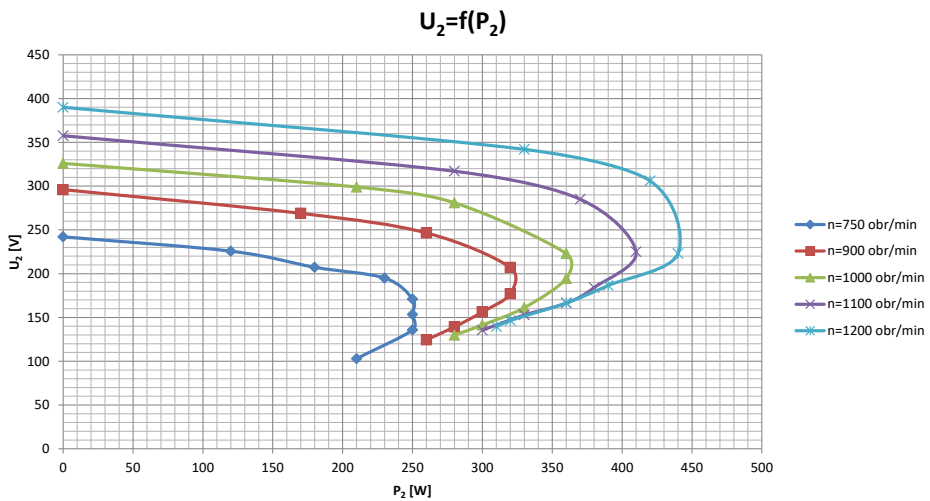
Rys. 5. Charakterystyki napięcia po stronie obciążenia U_{DC} w zależności od mocy po stronie obciążenia P_{DC} dla poszczególnych prędkości obrotowych [1]



Rys. 6. Charakterystyki napięcia przemiennego U_2 w zależności od mocy obciążenia P_{DC} dla poszczególnych prędkości obrotowych [1]



Rys. 7. Charakterystyki współczynnika mocy $\cos\varphi_2$ w zależności od mocy po stronie obciążenia P_{DC} dla poszczególnych prędkości obrotowych [1]



Rys. 8. Charakterystyki napięcia przemiennego U_2 w zależności od mocy zmierzonej przy prądzie przemiennym P_2 dla poszczególnych prędkości obrotowych [1]

PODSUMOWANIE

Przedstawione pomiary oraz wyniki badań dotyczą prądnicy synchronicznej dwustopniowej (o podwójnym wirniku), zwiększającej częstotliwość generowanego napięcia.

W artykule zaprezentowano następujące charakterystyki:

- częstotliwości zmieniającej się dla kolejnych prędkości obrotowych:
 $f = f(n)$,
- zmiany poszczególnych parametrów w funkcji mocy wydzielanej na odbiorniku: $U_{DC}, U_2, \cos\phi_2 = f(P_{DC})$,
- zmiany napięcia prądnicy synchronicznej o podwójnym wirniku w funkcji mocy czynnej prądnicy wskazanej przez miernik parametrów sieci N10: $U_2 = f(P_2)$.

Z przeprowadzonych badań wynika, że częstotliwość generowanego napięcia prądnic synchronicznych w układzie dwumaszynowym jest zwiększona dwukrotnie, przy najniższej prędkości obrotowej $n = 750$ obr/min (połowie prędkości synchronicznej), która dla tej maszyny wynosi $n_s = 1500$ obr/min generowana częstotliwość $f = 50$ Hz. Dla najwyższej prędkości obrotowej $n = 1200$ obr/min generowana częstotliwość wzrosła do 79,5–80 Hz. Powyższe wnioski pozwalają stwierdzić, że przy wzroście prędkości obrotowej $n_0 = 100$ obr/min odpowiedzią układu jest zwiększenie częstotliwości generowanego napięcia o około 7 Hz. Ponadto w takt zwiększania prędkości obrotowej obserwuje się wzrost napięcia wyjściowego. Najwyższe zanotowane napięcie miało wartość 440 V, co nakłoniło do zaniechania dalszych pomiarów ze względów bezpieczeństwa, gdyż diody prostownika 6D zbudowane były na 500 V.

Podsumowując, prądnica dwustopniowa pozwala na dwukrotne zwiększenie częstotliwości generowanego napięcia, zastosowana prądnica dodatkowo zwiększa wartość generowanego napięcia.

LITERATURA

- [1] Kmiciniński Ł., *Badanie układu złożonego z dwóch maszyn indukcyjnych w aspekcie pracy prądnicowej*, Politechnika Lubelska, Praca inżynierska, Lublin 2019
- [2] Kasproicz A., *Model matematyczny samowzbudnego generatora indukcyjnego – analiza samowzbudzenia, stany przejściowe, stan ustalony*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Nr 62, 2009, 15–25
- [3] Jakubowski B., Pieńkowski K., *Badania procesów wzbudzenia autonomicznego generatora indukcyjnego*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, Nr 65, 2011
- [4] Gawron S., *Prądnica synchroniczna z magnesami trwałymi o podwójnym wirniku zwiększająca częstotliwość generowanego napięcia*, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, Nr 80, 2008.

PORÓWNANIE ODDZIAŁYWANIA RÓŻNYCH ODBIORNIKÓW JEDNOFAZOWYCH NA SIEĆ ELEKTROENERGETYCZNĄ POD KĄTEM JAKOŚCI ENERGII

WSTĘP

Na tle historii wraz z dynamicznym rozwojem technologicznym, w czasach gdy elektryczność stała się dostępna dla normalnych ludzi, na rynku zaczęły pojawiać się bardziej zaawansowane i wymagające odbiorniki. Podjęto dyskusję nad sposobem w jakim stopniu oddziałują one na sieć elektroenergetyczną, a także jaki wpływ na ich pracę ma dostarczana energia elektryczna. Z biegiem czasu energia elektryczna została być traktowana na rynku jako towar, który nabywany jest przez odbiorców, spełniających ich wymagania lub zagrażających własności odbiorcy, a także życiu i zdrowiu. Jakość energii elektrycznej zawiera kompletnie określone w rozrządzeniach normy opisujące charakterystyki oraz cechy napięcia zasilającego. Chcąc dokonać oceny jakości energii elektrycznej wykorzystuje się specjalne, wieloparametrowe analizatory, które charakteryzują się możliwością jednoczesnego pomiaru wielu parametrów oraz porównania ich z zakresami obowiązujących norm.

Proces dostawy energii elektrycznej do odbiorcy o satysfakcjonującym zakresie jakości cechuje się wysokim nakładem. Istotną kwestią dla dostawców energii elektrycznej jest działanie klientów na cenę dostawy oraz obsługi energii elektrycznej co przekłada się na inwestycje w tej branży. Odbiornikami zagrożonymi złą jakością energii elektrycznej są w szczególności: komputerowe urządzenia kontrolno-pomiarowo-sterujące, urządzenie zasilające zakłócających użytkowników czyli transformatory elektroenergetyczne, a także baterie kondensatorów. Tematyka powiązana z jakością energii elektrycznej widoczna jest na poszczególnych etapach przepływu energii elektrycznej. Zaczynając od wytworzenia, jej transmisję, następnie rozdział oraz wykorzystania energii przez odbiorców.

JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Międzynarodowymi głównymi dokumentami prawnymi są normy IEC serii 61000. Jej poszczególne części opisują definicje wskaźników jakościowych, poziomy kompatybilności, dopuszczalne poziomy emisji, a także metody pomiarowe.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, fiat@onet.com.pl

Parametry obrazujące jakość energii elektrycznej określone są w normie PN-EN 50160 2010. Norma ta także przedstawia dopuszczalne wartości dla określonych parametrów, pod kątem punktu przyłączenia instalacji odbiorcy nN lub SN do sieci. Zawarte w normie PN-EN 50160: 2010, dopuszczalne wartości parametrów na ogół są zgodne z poziomami kompatybilności elektromagnetycznej zdefiniowanymi w IEC.

Dokumentem określającym parametry techniczne napięcia zasilającego krajowego systemu elektroenergetycznego i jakościowe wymagania obsługi odbiorców jest Rozporządzenie wydane przez Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. stanowiące akt wykonawczy do ustawy Prawo energetyczne z 1997 roku. Ustanawia ono prawne podstawy w zakresie zagwarantowania sprecyzowanego stanu jakości energii elektrycznej, ciągłości zasilania oraz określa spoczywająca na dostawcy i odbiorcy energii za naruszenie wymagań odnośnie parametrów jakości. Dozwolone wartości parametrów prezentowane w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki zależnie od napięcia znamionowego sieci do jakiej podłączeni są odbiorcy energii elektrycznej. W przypadku sieci elektroenergetycznych nN i SN są one poprawne do wartości zawartych w normie PN-EN 50160:2010 [1].

Dziedzina jakości zasilania jest tematem rozmów obejmujący czasy początku XX w. Na tle czasu wspólnie z zmieniającymi się parametrami energii elektrycznej, zmieniło się również rozumienie jakości.

Jakość energii elektrycznej określać możemy na różne sposobów w zależności od osoby, która podejmuje próbę jej zdefiniowania czy jest nią odbiorca, dostawca energii elektrycznej lub konkretna firma produkująca dany sprzęt. Rozpatrując fakt, że skutki energii elektrycznej słabej jakości odczuwa odbiorca finalny to właśnie on najbardziej ponosi konsekwencje złej jakości energii elektrycznej, dlatego jego rozumienie definicji ma pierwszeństwo. Wielokrotnie w tej grupie jakość wyrażana jest jako napięcie, prąd bądź odchylenie częstotliwości od wartości znamionowej, która może wywołać uszkodzenie lub niepożądaną pracę urządzeń.

Obok rozważanej definicji warto wziąć pod uwagę, że jakość energii jest przedstawiona jako stopień zadowolenia odbiorcy energii elektrycznej z kryteriów zasilania. Jakość energii elektrycznej uznajemy za dobrą w momencie gdy liczbowe wskaźniki zawarte są w określonych warunkach umowy dostawy energii elektrycznej i odbiorcy nie składają skargi. Obecność zaburzeń nie oznacza od razu problematyki związanej z jakością energii elektrycznej, pojawiają się one w trakcie niekorzystnych zjawisk wynikających z punktu widzenia użytkownika energii elektrycznej np. usterka pracy sprzętu lub instalacji [3].

Wartość częstotliwości napięcia zasilającego jest określana jako liczba powtórzeń składowej podstawowej napięcia, która jest zależna od wartości czasu. Norma PN-EN 61000 a także Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu

elektroenergetycznego, prezentują ten sam sposób pomiaru częstotliwości napięcia zasilającego. W trakcie normalnej pracy wartość średnia częstotliwości mierzona być powinna przez czas 10 sekund. Wynik podstawowej częstotliwości określany jest jako: iloraz liczby całkowitych okresów mierzonych w 10 sekundach czasu, podzielonej przez czas całkowitego trwania pełnych okresów. Zwrócić uwagę należy na fakt, że w momencie nachodzenia na siebie pojedynczych okresów czasu wyniki zostają odrzucane. Każde 10 sekund okresu czasu być powinno zaczynane zgodnie z początkiem 10 sekund czasu zegarowego. Czas przez jaki powinny być przeprowadzane pomiary wynosi minimalnie 7 dni [4].

Występowanie wyższych harmonicznnych napięć oraz prądów zaliczane jest do najstarszych zaburzeń w systemie elektroenergetycznym. Najpierw były wywoływane przez ręcione prostowniki, które odgrywały swoją rolę przy zmianie prądu przemiennego na prąd stały w napędach bezstopniowych wykorzystywanych w przemyśle. Przez wiele lat wartość ich rosła równomiernie z wzrostem odbiorników nieliniowych, oraz spadkiem udziału odbiorników rezystancyjnych. Przez ostatnią dekadę czasu, wyraźnie nastąpiło polepszenie sytuacji dzięki coraz szerszemu zakresowi wiedzy o dziedzinie i wzrost świadomości zagrożenia jaki za sobą niesie.

Harmoniczna jest przedstawiana jako "składowa przebiegu o częstotliwości będącej całkowitą krotnością częstotliwości podstawowej". to znaczy, że dla składowej podstawowej wartość częstotliwość wynosi 50 Hz, za to dla trzeciej harmonicznnej wynosi 150 Hz [2, 7].

Za pomocą przebiegu Fouriera (równanie 1) istnieje możliwość przedstawienia w sposób matematyczny wyższych harmonicznnych. Są one przedstawione jako suma składowych indywidualnych sinusoid, charakteryzujących się różnymi wartościami częstotliwości, które są krotnością składowej podstawowej.

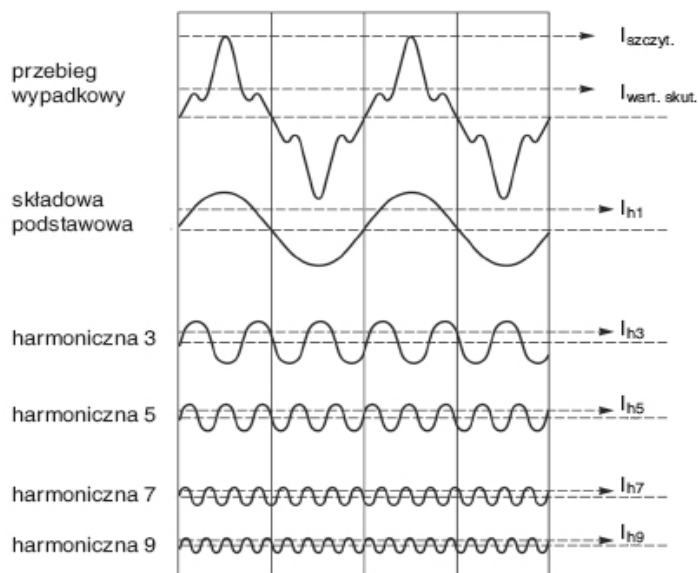
$$f(t) = A_0 + A_{1m} \sin(\omega t + \Psi_1) + A_{2m} \sin(2\omega t + \Psi_2) + \sum_{k=0}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \Psi_k) \quad (1)$$

gdzie: A_0 – składowa stała, ω – pulsacja [2, 7].

W skutek analizy szeregu Fouriera istnieje możliwość wyróżnia harmonicznnych stacjonarnych, będące stanami ustalonymi.

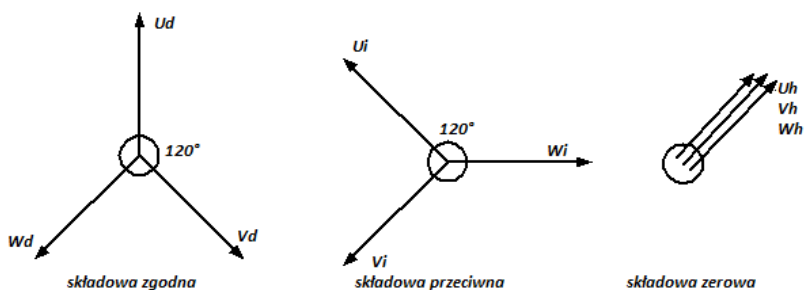
Harmoniczne prądów są istotnym problemem w instalacjach zasilania, ponieważ wywołują liczne negatywne konsekwencje. Generują momenty pasożytnicze w silnikach synchronicznych i asynchronicznych, które nakładają się na moment pierwszej harmonicznnej. Może to spowodować wystąpienie zjawiska silnych drgań oraz doprowadzić do szybszego uszkodzenia maszyny. Harmoniczne mogą również przyczynić się do zjawiska wystąpienia dodatkowych strat mocy czynnej i strat dielektrycznych które powodują zbyt

duże nagrzewanie się przewodów, kondensatorów, nieselektywnych działań wybranych zabezpieczeń ochronnych, a także zjawisko migotanie światła w źródłach wyładowczych [2, 7].



Rys. 1. Przebieg dla prądu odkształconego oraz rozkład na harmoniczne

Stanem niesymetrycznym definiujemy stan techniczny dla układu wielofazowego, gdy parametry elektryczne indywidualnych faz są takie same. Takie stany mogą trwać długo i krótko, kiedy poszczególne fazy są obciążone niesymetrycznie bądź krótkotrwale spowodowane np. awarią pracy układu [9, 19]. W trójfazowych układach asymetrię napięcia przedstawia się jako stan kiedy wartości skuteczne dla trzech napięć fazowych nie są identyczne lub/i kąty przesunięcia pomiędzy nimi różnią się od 120° [1].



Rys. 2. Graficzna interpretacja składowych symetrycznych

Zjawisko pojawienia się niesymetrii dla układu napięć fazowych niesie wraz z sobą powstanie składowych symetrycznych kolejności przeciwnej napięć lub symetryczne składowe kolejności zerowej napięć czy też obie składowe [2].

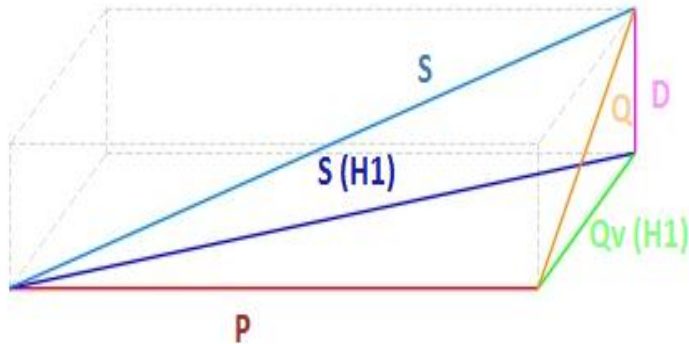
Wymagania odbiorców energii elektrycznej w zakresie jakości napięcia energii elektrycznej nie dotyczą jedynie ciągłości zasilania w czasie trwania całej doby, miesiąca czy roku, ale w mniejszych okresach czasowych takich jak sekundy czy nawet milisekundy. Dlatego zapady napięcia oraz krótkie przerwy zasilania odbiorników są uznawane, w chwili obecnej jako jedno z istotnych zaburzeń, oraz jedno z często występujących w sieciach przemysłowych.

Zapad napięcia przedstawiany jest jako krótkotrwały spadek skutecznej wartości lub całkowity zanik napięcia. Czas trwania zapadu definiujemy jako czas zawarty pomiędzy chwilą, dla jakiej napięcie w analizowanym punkcie sytemu zasilającego zmaleje poniżej wartość progowej początku zapadu, wartością chwili w czasie której pokona wartość progową końca zapadu.

MOCE W PRZEBIEGACH ODKSZTAŁCONYCH

Rozpatrując przebiegi sinusoidalne istotnym aspektem, jest energia pobierana przez odbiornik energii elektrycznej czasie jednego okresu, bądź wielokrotności okresu. Uwzględniając przesunięcie prądu względem napięcia dla obwodów prądu zmiennego wyróżnić możemy następujące rodzaje mocy: moc czynna, bierna, pozorna oraz moc odkształcenia.

Geometryczną interpretacją zależność między mocami w przypadku przebiegów odkształconych jest tzw. prostopadłościan mocy.



Rys. 3. Prostopadłościan mocy wygenerowany w programie Win PQ mobil

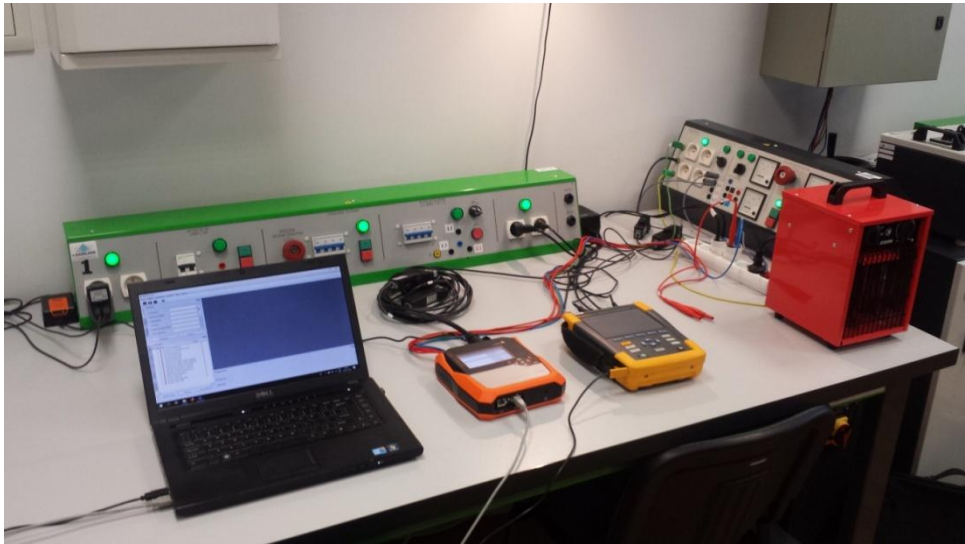
Wzrost wartości mocy pozornej określany jest jako, powstanie dodatkowej mocy ortogonalnej D określanej jako moc odkształcenia. Obrazuje ona różnicę kształtu prądu, a także napięcia elementu. Przedstawiana jest jako różnica rzeczywistej mocy pozornej a mocami, zaprezentowanymi przez Budeanu:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2} \quad (2)$$

Moc odkształcenia jest odpowiedzialna za wzrost mocy pozornej z powodu odkształcenia sygnału [6].

REALIZACJA BADAŃ W LABORATORIUM JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA WYDZIALE WEI

Badania parametrów jakości energii elektrycznej w Laboratorium Jakości Energii na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej w Katedrze Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń zostały wykonane z zastosowaniem dwóch analizatorów. W poniższej części artykułu dokonano analizy oraz opracowania wyników badań odbiorników jednofazowych. Pomiary odbiorników wykonano na dwóch analizatorach jakości energii elektrycznej: Fluke 435-II oraz A-eberle PQ BOX 150. Użyte analizatory są zgodne z normą IEC 61000-4-30 oraz posiadają certyfikat klasy A. Na (Rys. 5) przedstawiono sposób podłączenia analizatora do odbiornika.

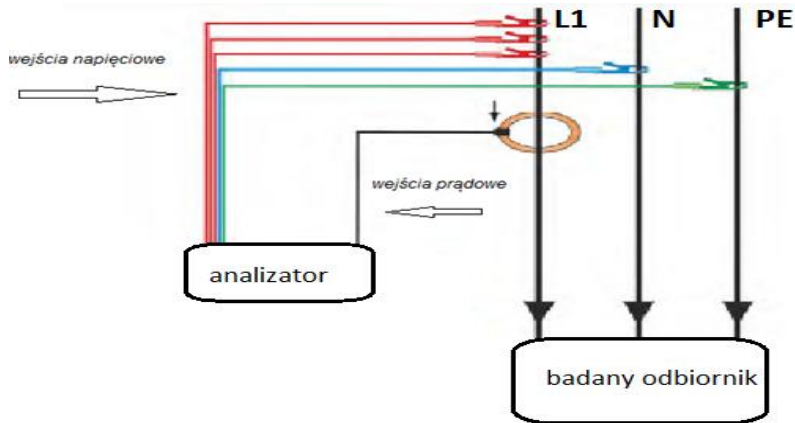


Rys. 4. Stanowisko pomiarowe z wykorzystaniem analizatorów jakości energii elektrycznej Fluke 435-II i PQ BOX 150 w laboratorium jakości sieci

Odbiorniki zostały przebadane pod względem parametrów jakościowych, parametrów odkształcenia wyższymi harmonicznymi i wartościami harmonicznymi rzędu h .

Odbiornikiem wprowadzającym największe wartości harmonicznymi była lampa De Lorenzo DI Simsun służąca do zapewnienia odpowiedniego naświetlenia paneli fotowoltaicznych. Wykorzystywana jest w celu przeprowadzenia eksperymentów o różnych natężeniach światła, dzięki temu możliwa jest symulacja warunków oświetlenia od świtu aż do zmierzchu. Przeznaczona według zaleceń producenta do zasilania napięciem 230 V AC.

Wyposażona w cztery halogeny o mocy 300 W każdy, ściemniacz do kontroli natężenia światła, potencjometr 10 k Ω oraz wyłącznik różnicowoprądowy AGE Elfa D90, 2-polowy, typ AC, o klasie C10, o znamionowym prądzie różnicowym 30 mA. Rozpatrywana lampa została ustawiona na zakres 25% mocy.



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego dla odbiorników jednofazowych.



Rys. 6. Lampa De Lorenzo Dl Simsun

Tabela 1. Zestawienie parametrów jakości zasilania, charakter odbiornika - pojemnościowy

Typ analizatora	U	I	f	S	Q	P	PF	$\cos \varphi$
	V	A	Hz	kVA	var	kW	-	-
PQ BOX 150	228,9	3,77	50,04	0,87	817,1	0,29	0,34	0,55
Fluke 435-II	229,8	3,76	50,02	0,86	443,2	0,313	0,36	0,58

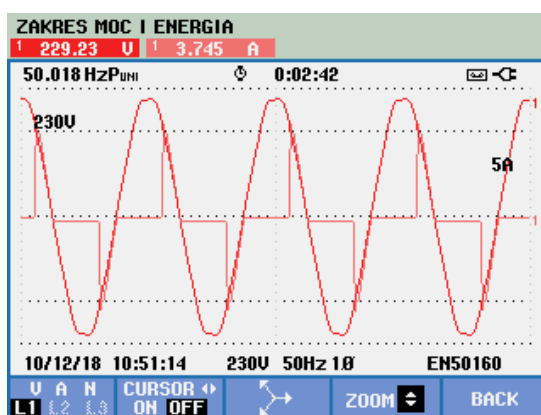
Tabela 2. Zestawienie parametrów opisujących odkształcenie przebiegu

Typ analizatora	THD_U	THD_I	D	$Q_{(hI)}$	$S_{(hI)}$	$k-A$	Va_{har}
	%	%	var	var	VA	-	-
PQ BOX 150	2,54	123,4	680,6	454,06	537,79	-	-
Fluke 435-II	2,5	122	-	-	-	2	661,9

Tabela 3. Wartość harmoniczných prądu rzędu h

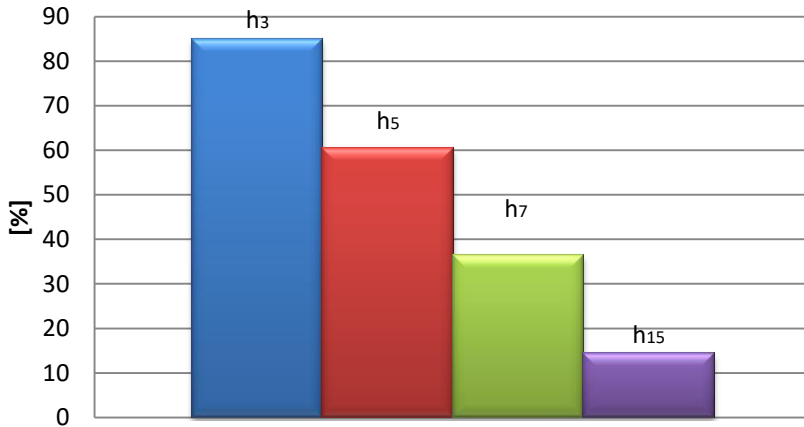
Rząd harmoniczných h	1	3	5	7	15
Wartość [%]	100	85	60,4	36,4	14,4

Chwilowy przebieg prądu dla lampy z mocą 25% cechuje się wysoką wartością odkształcenia. Przez dłuższy czasu prąd jest zerowy, następnie zachodzi gwałtowny skok wartości prądu do wartości szczytowej, a w dalszej części dokonuje spadku do zera.



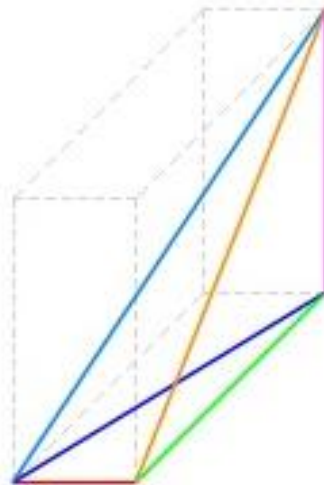
Rys. 7. Zestawienie przebiegów prądu i napięcia wygenerowanych w analizatorze Fluke 435

Wykres kolumnowy wartości składowych harmoniczných prądu (Rys. 8), prezentuje dość wysokie wartości harmoniczných prądu i w przypadku omawianego odbiornika, osiąają one największe wartości spośród przebadanych urządzeń.



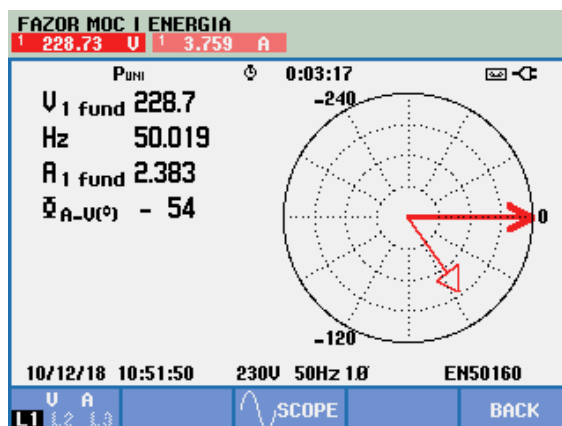
Rys. 8. Wykres składowych harmoniczných

W przypadku omawianego pomiaru lampy prostopadłościan mocy wskazuje na dużą moc odkształcenia. Moc bierna osiąga niemal identycznie wysoką wartość jak moc czynna.



Rys. 9. Prostopadłościan mocy wygenerowany przez analizator PQ BOX 150

Wektor prądu dla lampy o zakresie mocy 25% (Rys. 10), przemieszczony jest względem napięcia o wartość kąta = -54° .



Rys. 10. Wykres wektorowy dla lampy przy 25% mocy

Odbiornikiem mającym najmniejszy wpływ na odkształcenie przebiegu jest nagrzewnica elektryczna firmy Dedra DED 9920 X1. Charakteryzuje się mocą 2000 W. Przystosowana do zasilania napięciem 230 V AC o częstotliwości 50 Hz. Posiada współczynnik ochrony IP44, a także jest przystosowana do pracy ciągłej (S1).



Rys. 11. Nagrzewnica elektryczna Dedra DED 9920 X1

Nagrzewnica obciążona została prądem w granicy 8,1 A. Parametry określające wpływ odbiornika na odkształcenie przebiegu nie wykazują większych wartości.

Tabela 4. Parametry jakości zasilania dla nagrzewnicy elektrycznej, charakter odbiornika – rezystancyjny

Typ analizatora	U	I	f	S	Q	P	PF	$\cos \varphi$
	V	A	Hz	kVA	var	kW	-	-
PQ BOX 150	224,6	8,16	50,01	1,83	42,25	1,84	1	1
Fluke 435-II	225,1	8,12	50	1,82	56	1,81	1	1

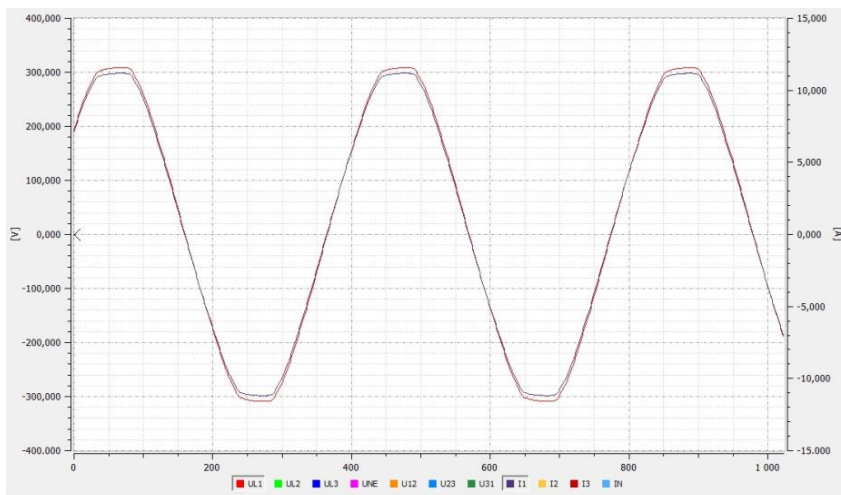
Tabela 5. Parametry opisujące odkształcenie przebiegu

Typ analizatora	THD_U	THD_I	D	$Q_{(hl)}$	$S_{(hl)}$	$k-A$	Va_{har}
	%	%	var	var	VA	-	-
PQ BOX 150	2,18	2,19	5,1	41,92	1827,96	-	-
Fluke 435-II	2,2	2,3	-	-	-	1	53,9

Tabela 6. Wartość harmoniczných prądu rzędu h dla nagrzewnicy

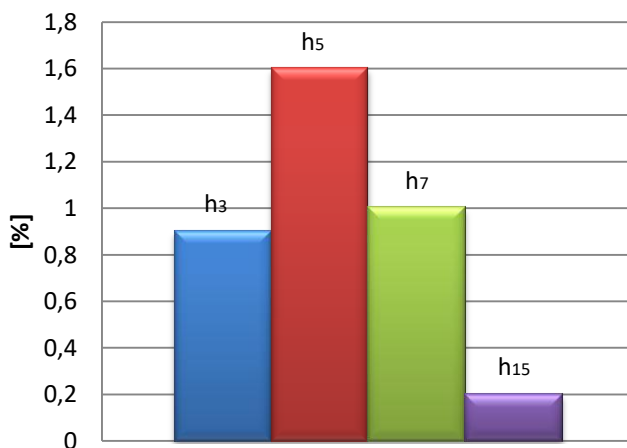
Rząd harmoniczných h	1	3	5	7	15
Wartość [%]	100	0,9	1,6	1	0,2

Na rysunku (Rys. 12) ukazano przebiegi chwilowe napięcia i prądu, wygenerowane poprzez program WinPQmobil, w zakładce oscyloskop. Kolorem czerwonym zaprezentowano przebieg napięcia, natomiast kolorem fioletowym przebieg prądu dla badanego odbiornika. Jak można zauważyć przebiegi wskazują obciążenie rezystancyjne nie zauważalne jest większe odkształcenie. Wartości chwilowe dla napięcia i prądu są względem siebie proporcjonalne dla każdej chwili czasowej co oznacza że są równokształtne.



Rys. 12. Przebiegi chwilowe napięcia oraz prądu dla nagrzewnicy elektrycznej

Na podstawie analizy wyników badań harmonicznych z użyciem analizatora Fluke 435-II, wykonano zestawienie wartości harmonicznych nieparzystych prądu rzędu h (Rys.13). W przypadku rozpatrywanego odbiornika harmoniczne prądu są dosyć niskie.

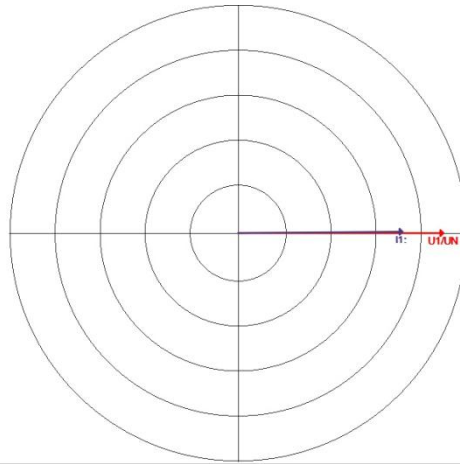


Rys. 13. Wykres wartości harmonicznych prądu dla nagrzewnicy elektrycznej

Jak można zauważyć na rysunku 14 moc bierna Q i moc odkształcenia D jest bardzo niska, co wykazuje bardzo mały wpływ na odkształcenie przebiegu. Moc czynna P , oznaczona czerwonym kolorem jest zbliżona mocy pozornej S przedstawiona na niebiesko.

Rys. 14. Rozkład mocy nagrzewnicy elektrycznej

W badanym urządzeniu wektory pokrywają się z sobą. Kąt przesunięcia fazowego ma zerową wartość.



Rys. 15. Wykres wektorowy dla nagrzewnicy elektrycznej

PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych wyników badań, przeprowadzonych w Laboratorium Jakości Energii na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej w Katedrze Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń przedstawiono następujące wnioski. Jednofazowym odbiornikiem wykazującym największy wpływ na odkształcenie przebiegu napięcia oraz prądu jest lampa De Lorenzo DI Samsun w przypadku ograniczenia jej mocy do 25%, na co wskazuje największy współczynnik THD_I . Istotnym zakłóceniem oddziałującym na jakość zasilania jest odkształcenie przebiegu napięcia, które cechuje się współczynnikiem THD_U . Największą wartość wspomnianego współczynnika wynosi 2,5% otrzymana wartość jest zgodna z normą PN-EN 50160. Ustalono, że urządzeniem mającym minimalny wpływ na jakość energii jest nagrzewnica elektryczna Dedra DED 9920 X1. Przebieg wartości prądu i napięcia w czasie tego urządzenia jest praktycznie bez odkształceń, wyróżnia go najmniejsza moc odkształcenia na poziomie 5 var oraz charakteryzuje się najniższą wartością THD_I . Z wykorzystaniem analizatorów jakości energii elektrycznej możliwe jest

uzyskanie pełnej oceny, a także określenie wartości parametrów charakteryzujących jakość energii elektrycznej. Analiza kontrolna wartości parametrów jakościowych pozwala zmniejszyć zużycie energii elektrycznej w zakładach przemysłowych i gospodarstwach domowych, co pozwala ograniczyć rachunki za energię.

LITERATURA

- [1] Wasiak I., *Jakość zasilania w sieciach z generacją rozproszoną*, Wydawnictwo PWN, Warszawa, 2015
- [2] Markiewicz H., *Niezawodność dostawy i jakość energii elektrycznej jako kryterium wyznaczające sposoby zasilania odbiorców i wykonania instalacji elektrycznych*, Wrocław, 2002
- [3] Hanzelka Z., *Jakość dostawy energii elektrycznej, Zaburzenia wartości skutecznej napięcia*, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2013
- [4] Leszczyński J., *Badanie jakości energii elektrycznej Analiza porównawcza metod i przepisów*, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 2010
- [5] Zajkowski K., *Wady teorii mocy w obwodach jednofazowych według Budeanu i Fryzego*, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2016
- [6] Szubert K., *Pomiar mocy w przebiegach odkształconych*, Politechnika Poznańska, Poznań, 1996
- [7] Poradnik., *Jakość zasilania*, Zbiór zeszytów Europejskiego Programu Leonardo da Vinci.



POLITECHNIKA LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI



20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel. (+ 48) 815384287, tel./fax (+48) 815384646 <http://www.weii.pollub.pl> e-mail: we.sekretariat@pollub.pl



OFERTA DYDAKTYCZNA WYDZIAŁU
STUDIA W SYSTEMIE STACJONARNYM I NIESTACJONARNYM

I stopień (studia inżynierskie, bez specjalności)

ELEKTROTECHNIKA
INFORMATYKA
MECHATRONIKA (z Wydz. Mechanicznym)
INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA (z Wydz. Mechanicznym)

Elektrotechnologie OZE
 Inteligentne technologie w elektrotechnice
 Elektroenergetyka
 Projektowanie urządzeń elektrycznych
 Napędy elektryczne w automatyce przemysłowej
 Elektronika stosowana
 Elektrotechnika w pojazdach samochodowych

Power and Measurement (studia w jęz. ang.)

II stopień (studia magisterskie)

ELEKTROTECHNIKA
INFORMATYKA
MECHATRONIKA
INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA

specjalności

Aplikacje internetowe
 Technologie wytwarzania oprogramowania
 Grafika i gry komputerowe
 Sieci informatyczne
 Rozproszone systemy informatyczne - Internet Rzeczy

Mobile application development (studia stacjonarne w jęz. ang.)
 IT Networks (studia stacjonarne w jęz. ang.)

Elektroniczna aparatura i informatyka medyczna
 Technologie wytwarzania w inżynierii biomedycznej

Systemy mobilne w mechatronice
 Mechatronika samochodowa

WIĘCEJ O REKRUTACJI NA
<http://rekrutacja.weii.pollub.pl>
 tel. 81 5384742

