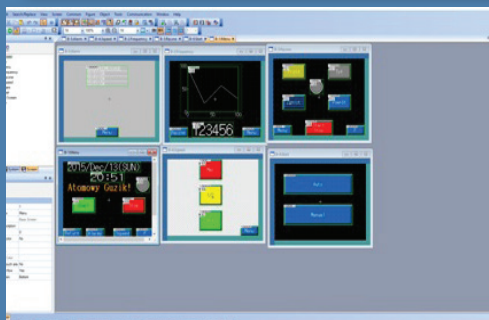
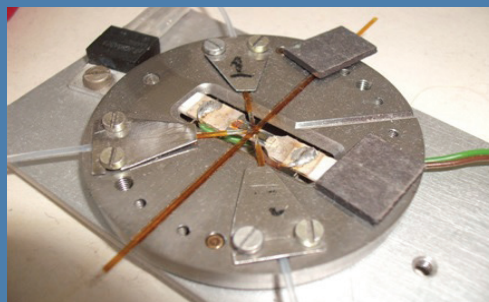


Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia z inżynierii elektrycznej i mechatronicznej



redakcja

Tomasz N. Kołtunowicz

Piotr Z. Filipek

Andrzej Kociubiński

Paweł A. Mazurek

Maciej Laskowski

Politechnika Lubelska

Lublin 2016

Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia z inżynierii elektrycznej
i mechatronicznej



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

Problemy Współczesnej Inżynierii

Wybrane zagadnienia z inżynierii elektrycznej
i mechatronicznej

redakcja:
Tomasz N. Kołtunowicz
Piotr Z. Filipek
Andrzej Kociubiński
Paweł A. Mazurek
Maciej Laskowski



Politechnika Lubelska
Lublin 2016

Recenzenci:

członkowie Komitetu Naukowego VI Sympozjum Elektryków i Informatyków

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2016

ISBN: 978-83-7947-223-9

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

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

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: TOP Agencja Reklamowa Agnieszka Łuczak

www.agencjatop.pl

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

Nakład: 80 egz.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA	7
1 ZAAWANSOWANE METODY STEROWANIA SILNIKIEM BLDC JAKUB DROZD, MARIUSZ DUK	9
2 PROJEKT FAZOMIERZA MIKROPROCESOROWEGO Z FUNKCJĄ POMIARU CZĘSTOTLIWOŚCI MATEUSZ SNOPEK, BARTOSZ KANIA	21
3 BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI MECHANICZNYCH POŁĄCZEŃ DRUTOWYCH DO WARSTWY Z MIEDZI I ALUMINIUM WYKONANYCH METODĄ ULTRATERMOKOMPRESJI MACIEJ SZYPULSKI, DAWID ZARZECZNY	32
4 NOWOCZESNE UKŁADY DETEKCJI ZAGROŻEŃ W SYSTEMACH ALARMOWYCH DANIEL BUDZYŃSKI	43
5 PROJEKT AUTOMATYCZNEJ ZGNIATARKI DO PUSZEK ALUMINIOWYCH MATEUSZ TŁUCZEK	53
6 MODERNIZACJA PRASY WYKRAWAJĄCEJ GĄBKĄ Z UWZGLĘDNIENIEM AKTUALNIE OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW BEZPIECZEŃSTWA PIOTR BARTŁOMIEJCZYK, MATEUSZ KLAIN	62
7 INTELIGENTNE OŚWIETLENIE SAMOCHODU DAWID R. KRZYŻANEK	76
8 PROJEKT DRONA CYWILNEGO DO ZASTOSOWAŃ REKLAMOWYCH ŁUKASZ SZKLARCZYK, PIOTR STALA, ARTUR SMYK	96
9 POMIARY I ANALIZA CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH ZŁĄCZY P-N Z WĘGLIKA KRZEMU WYKONANYCH METODĄ IMPLANTACYJNĄ KONRAD JEZIOR, ANDRZEJ KOCIUBIŃSKI	111

10	<i>TECHNOLOGIA MIKROGRZEJNIKA Z NiCr DO LOKALNEGO OGRZEWANIA PRÓBKI CIECZY O NANOLITROWEJ OBJĘTOŚCI</i> TOMASZ LIZAK, MATEUSZ GĘCA, ANDRZEJ KOCIUBIŃSKI, MARIUSZ DUK, MICHAŁ BORECKI	119
11	<i>STACJA POGODOWA – BADANIA TERENOWE PRZYSTOSOWUJĄCE INSTALACJĘ DO PRACY LABORATORYJNEJ</i> KAMIL BUKAŁA, PAWEŁ A. MAZUREK	129
12	<i>ELECTROCHEMICALLY DEPOSITED Ni NANOTUBES</i> A. SHUMSKAYA, A. KOZLOVSKIY, M. ZDOROVETS, M. IBRAGIMOVA, D. SHLIMAS, A. PETROV, E. KANIUKOV	142
	SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE VI SYMPOZJUM NAUKOWE ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW	150
	PATRONI VI SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW	151

PRZEDMOWA

Szanowni Uczestnicy i Sympatycy Sympozjum, Czytelnicy

Kolejne, szóste Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków SNEiI 2016 już za nami. Inicjatywa Studenckich Kół Naukowych oraz Samorządu Studenckiego Politechniki Lubelskiej stała się rozpoznawalnym wydarzeniem, przekraczającym już granice naszego kraju. W tegorocznym sympozjum w sesji pojawiły się bowiem prezentacje studentów z Białorusi.

Patronat honorowy nad Sympozjum objął ponownie Prezydent Miasta Lublin – dr Krzysztof Żuk, pani Prezes Urzędu Komunikacji Elektronicznej – Magdalena Gaj oraz Lubelski Oddział Stowarzyszenia Elektryków Polskich. W gronie patronujących instytucji było także Polskie Towarzystwo Informatyczne – Koło w Lublinie oraz Lubelski Oddział Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. Po raz kolejny mogliśmy też liczyć na wsparcie naszych uczelnianych władz – Jego Magnificencji Rektora Politechniki Lubelskiej prof. dr hab. inż. Piotra Kacejko oraz Pani Dziekan Wydziału Elektrotechniki i Informatyki prof. dr hab. inż. Henryki D. Stryczewskiej. Podziękowania kierujemy także do Wydziału Strategii i Obsługi Inwestorów Urzędu Miasta Lublin, który ponownie wspomógł nas w organizacji tego przedsięwzięcia oraz do wszystkich firm, które udzieliły nam wsparcia finansowego, materialnego i przeprowadziły szkolenia warsztatowe dla studentów.

Szczególnie gorące podziękowania składamy naszym zaproszonym prelegentom. Pierwszym był prof. Romuald B. Beck z Politechniki Warszawskiej, który wygłosił wykład inauguracyjny pt.: *„Jak obecność CEZAMATU zmienia krajobraz Nauki i B+R w Polsce i Europie”*. Kolejne prezentacje głosili mgr inż. Piotr Hołyszko z MPK Lublin – *„Trolejbusy z alternatywnym źródłem energii”*, inż. Zbigniew Czajkowski z firmy NMG sp. z o.o. – *„Systemy automatyki, pomiarów i zarządzania produkcji w przemyśle”* oraz Igor Niewiadomski z Wydziału Strategii i Obsługi Inwestorów, Urzędu Miasta Lublin – *„Potrzeby sektora przemysłowego a rozwój gospodarczy miasta Lublin”*.

Tradycyjnie, celem naszego Sympozjum była wymiana wiedzy i doświadczeń praktycznych w gronie młodych członków społeczności akademickiej, przedstawicieli lokalnych władz oraz regionalnego przemysłu. Tematyka Sympozjum analogicznie jak rok wcześniej obejmowała obszary dziedzin techniki powiązanych z kierunkami studiów realizowanymi na naszym Wydziale – elektrotechniką, mechatroniką, informatyką oraz inżynierią biomedyczną. Drugi dzień był częścią warsztatową, w której odbyły się szkolenia z zakresu elektrotechniki i informatyki dla studentów z kół naukowych. Dzięki stałej współpracy Wydziału z Delegaturą Urzędu Komunikacji Elektronicznej w Lublinie, w trakcie Sympozjum jego uczestnicy mogli zapoznać się z prezentacją Ruchomej Stacji Pomiarowej.

Nasze Sympozjum jest wspaniałą okazją do przeglądu osiągnięć, oceny dorobku i snucia planów naukowych naszych studentów. Duża liczba ogłoszonych referatów (ponad czterdzieści) mobilizują nas, kadrę uczelni do działań wspierających, czego dowodem jest niniejsza publikacja. Oddana w Państwa ręce monografia jest opracowaniem naukowym zawierającym recenzowane artykuły dotyczące działań jakie studenci naszej uczelni realizują w ramach własnych projektów i prac badawczych. Ze względu na dużą liczbę referatów podzieliliśmy nasze wydawnictwo na dwa tomy. Pierwszym objęliśmy tematykę elektrotechniki, automatyki i informatyki, a w drugim tomie zebraliśmy materiały dotyczące inżynierii biomedycznej.

Jako redaktorzy i współorganizatorzy SNEiI 2016 cieszymy się z dobrego odbioru naszej serii „*Problemy Współczesnej Inżynierii*” i raz jeszcze dziękujemy wszystkim instytucjom za udzielone wsparcie.

Redaktorzy

ZAAWANSOWANE METODY STEROWANIA SILNIKIEM BLDC

WSTĘP

Silniki bezszczotkowe prądu stałego(ang. Brushless Direct Current Motors) stają się coraz bardziej popularne ze względu na ich liczne zalety. Dąży się do rozwiązań, w których dużą uwagę zwraca się na dużą sprawność, bezawaryjność czy zmniejszenie gabarytów urządzenia. Uzyskanie najlepszych efektów wiąże się z bardziej złożonymi metodami sterowania a nawet stosowania dedykowanych układów regulacji pracy napędu. Taką maszyną jest silnik BLDC wymagający użycia dodatkowego układu wytwarzającego odpowiedni przebieg napięciowy w uzwojeniach stojana.

Drivery napędów BLDC są coraz bardziej wydajne ze względu na rozwój techniki mikroprocesorowej stosowanej w obwodach urządzenia co sprawia, że stają się one coraz bardziej konkurencyjne. Obecnie pojawiają się nowe metody regulacji prędkości maszyny bezszczotkowej wykorzystujące m.in. sensory hallotronowe lub bezczujnikowe układy odczytujące na bieżąco parametry z jakimi pracuje napęd.

Za pomocą odczytu sygnałów napływających do mikroprocesora istnieje możliwość sterowania prędkością oraz momentem obrotowym silnika w pętli zamkniętej stosując jedynie konstrukcję drivera BLDC. Taka cecha pozwala na dostosowanie pracy maszyny do indywidualnych potrzeb konsumenta wraz z minimalizacją kosztów i strat energii powstających podczas pracy. Wyzwaniem na etapie konstruktorskim jest odpowiednie skonstruowanie sterownika i implementacja oprogramowania pozwalającego na działanie napędu według założeń.

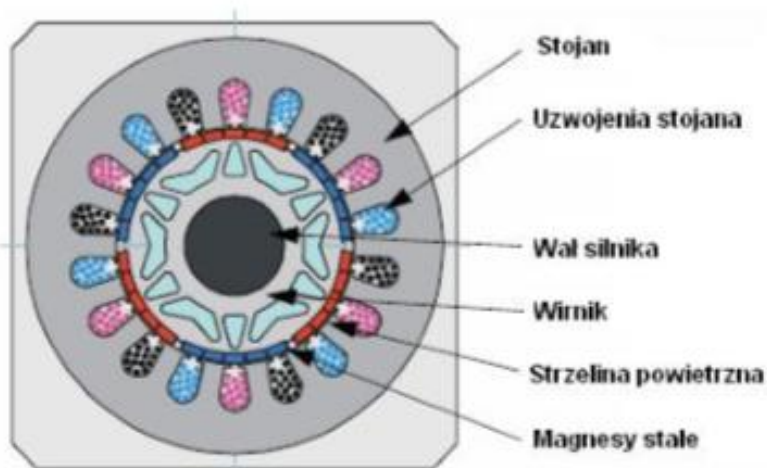
SILNIK BEZSZCZOTKOWY PRĄDU STAŁEGO

Silniki bezszczotkowe prądu stałego zaliczają się do grupy silników synchronicznych. Wytwarzane przez uzwojenia stojana w wyniku przepływu

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe „SEMICON”

² Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych

prądu pole magnetyczne oddziałuje z polem wytworzonym przez magnesy trwale osadzone na wirniku. Pola te poruszają się z równymi prędkościami jak w wypadku maszyn synchronicznych. Obciążenie momentem roboczym wału powoduje przesunięcie się pól magnetycznych oddziałujących między sobą o pewien kąt co odzwierciedla się na reakcję momentem obrotowym pochodzącym od napędu. Zbyt duże obciążenie to utrata synchronizmu obu pól magnetycznych [3].



Rys. 1. Budowa silnika BLDC (źródło: [4])

Budowa silnika bezszczotkowego jest tak naprawdę odwróceniem silnika komutatorowego z magnesami trwałymi. Uzwojenia maszyny znajdują się w stojanie a wirnik wykonany jest z odpowiednio ukształtowanego magnesu. Mechaniczny komutator jest zastąpiony elektronicznym przełącznikiem w postaci falownika, którego stan wyjściowy określa aktualne położenie wirnika [4].

Ze względu na liczbę uzwojeń, silniki BLDC można podzielić na:

- jednofazowe,
- dwufazowe,
- trójfazowe.

Najpopularniejsze i najszerzej stosowane są napędy trójfazowe. W odróżnieniu od jedno lub dwufazowych wersji zapewniają one najmniejsze tętnienia momentu obrotowego wytwarzanego przez oddziałujące pola magnetyczne stojana oraz wirnika.

W tradycyjnych zastosowaniach wyróżnia się dwa typy połączeń stosowane niezależnie od pożądanych parametrów pracy:

- gwiazda,
- trójkąt.

Konfiguracja połączeń uzwojeń ma wpływ na metodę sterowania. Regulacja maszyny z uzwojeniami połączonymi w gwiazdę jest mniej skomplikowane ze względu na konieczność zasilania tylko dwóch faz w danym momencie podczas gdy trzecia pozostaje nieobciążona. Napęd połączony w trójkąt zapewnia natomiast większą moc bądź prędkość obrotową kosztem większego prądu płynącego przez obwód [3].

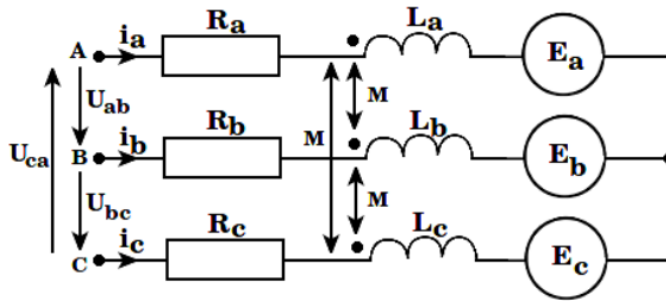
Dodatkowymi zaletami silnika BLDC są:

- wysoka sprawność,
- możliwość pracy w środowisku łatwopalnym/zagrożonym wybuchem ze względu na brak iskier (brak komutatora mechanicznego),
- cicha praca,
- wysoki stosunek momentu obrotowego do masy,
- niski poziom zakłóceń elektrycznych wynikający z braku komutatora mechanicznego.

Obecnie silniki bezszczotkowe z wirującym magnesem są powszechnie stosowane w serwonapędach maszyn oraz w sprzęcie powszechnego użytku (magnetowidy, magnetofony, wideokamery, napędy CD/DVD), coraz częściej też wspierają silniki krokowe w napędach dysków komputerowych [1].

MODEL MATEMATYCZNY SILNIKA BLDC

Znając model matematyczny silnika można przewidzieć bądź jednoznacznie określić parametry pracy napędu w dowolnej chwili. Na konstrukcję modelu ma wpływ typ połączeń uzwojeń wraz z konstrukcją uzwojeń. Zwykle upraszcza się obwód pomijając wpływ niektórych zjawisk na maszyną takich jak straty mocy w żelazie.



Rys. 2. Schemat zastępczy silnika BLDC (źródło: [6]).

Na rysunku 2 $R_{a,b,c}$ oznacza rezystancje faz a, b, c, $L_{a,b,c}$ – indukcyjności własne faz a, b, c, M – indukcyjności międzyfazowe, $i_{a,b,c}$ – prądy fazowe, $U_{ab,bc,ca}$ – napięcia międzyfazowe, $E_{a,b,c}$ – siły elektromotoryczne indukowane w pasmach uzwojeń fazowych. Na podstawie przyjętych założeń oraz korzystając z modelu obwodowego silnika można wyprowadzić następujące równania matematyczne:

$$U_a(t) = R_a i_a(t) + L'_a \frac{di_a(t)}{dt} + E_a(t), \quad (1)$$

$$U_b(t) = R_b i_b(t) + L'_b \frac{di_b(t)}{dt} + E_b(t), \quad (2)$$

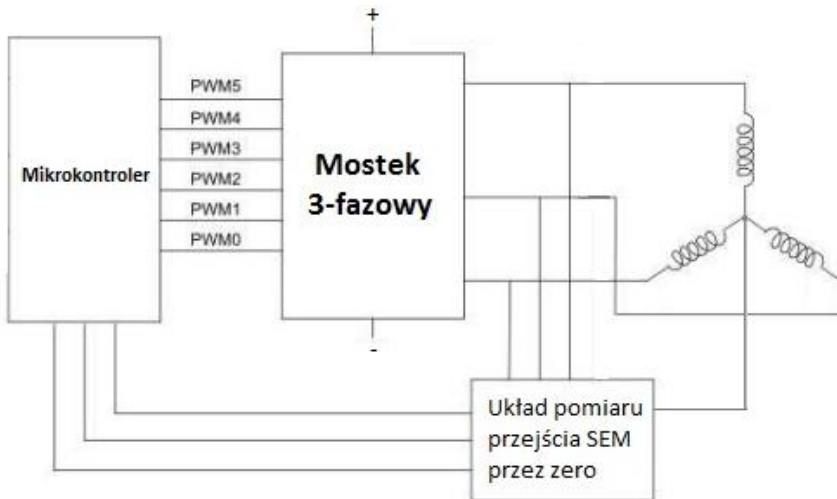
$$U_c(t) = R_c i_c(t) + L'_c \frac{di_c(t)}{dt} + E_c(t). \quad (3)$$

Indukcyjności fazowe L' występujące w równaniach określone są jako różnica między indukcyjnością własną danej fazy a indukcyjnościami wzajemnymi [6].

STEROWANIE BEZCZUJNIKOWE SILNIKIEM BLDC Z ZASTOSOWANIEM POMIARU SEM INDUKOWANEJ W UZWOJENIACH

Spośród metod sterowania bezczujnikowego silnikiem BLDC, najczęściej wykorzystywane są sposoby wykorzystujące siłę elektromotoryczną, indukującą się w uzwojeniach stojana. Na podstawie właściwości działania silnika BLDC można zbudować bezczujnikowe układy sterowania. Najbardziej klarowną metodą jest zastosowanie układu detekcji siły elektromotorycznej, który porównując wartości obecne SEM z jej wartością w punkcie gwiazdowym, zwraca informację o równości tych wartości. Jak widać takich miejsc przejścia jest sześć co odpowiada kolejno etapom komutacji. Na rysunku 3 przedstawiony został schemat takiego sterowania silnikiem BLDC.

W metodach bazujących na fazowych siłach elektromotorycznych wymagana jest znajomość potencjału punktu środkowego silnika. W niektórych konstrukcjach silników BLDC potencjał punktu środkowego jest wyprowadzony za pomocą dodatkowego przewodu. Dodatkowy przewód może być wyprowadzony dla silników w których uzwojenia połączone są w gwiazdę. Zaletą jest natomiast możliwość bezpośredniego pomiaru napięć fazowych. W przypadku braku wyprowadzonego punktu środkowego silnika przy określaniu fazowych napięć i sił elektromotorycznych silnika, można korzystać ze sztucznego zera. Jeśli zna się punkty przejścia przez zero fazowej siły elektromotorycznej, to stosując odpowiednie przesunięcie w czasie, można wyznaczyć chwile przełączania zaworów komutatora elektronicznego [2].



Rys. 3. Schemat sterowania silnikiem BLDC przy wykorzystaniu SEM indukowanej w uzwojeniach (źródło: opracowanie własne).

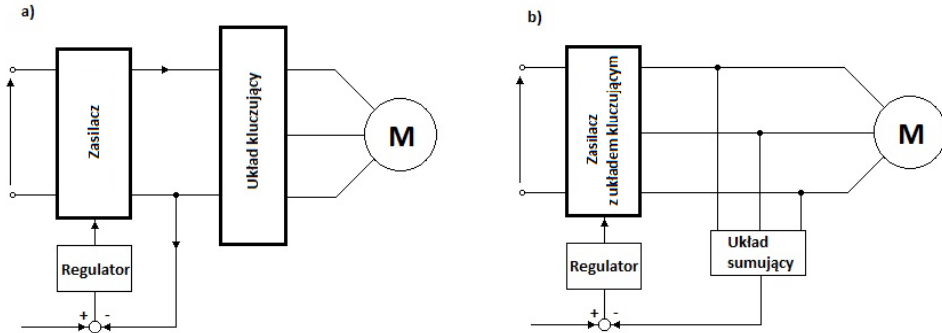
REGULACJA MOMENTU OBROTOWEGO

Silnik elektryczny jest przetwornikiem zamieniającym dostarczoną energię elektryczną w mechaniczną w postaci momentu obrotowego. Decyduje on o mocy silnika, a punktem wyjścia do jego wyznaczenia jest zależność:

$$F_e = Bli, \quad (4)$$

Określa on siłę elektromotoryczną działającą na przewód z prądem w polu magnetycznym, gdzie B to indukcja magnetyczna (gęstość strumienia), l – długość wirnika, i – prąd płynący przez przewód w polu magnetycznym.

Podstawowa struktura układu regulacji silnika prądu stałego przewiduje zastosowanie regulatora PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkującego). Przy analizie pracy takiego układu regulacji zakłada się zazwyczaj stałą prędkość kątową silnika w czasie działania regulatora. Na rysunku 4 przedstawiono strukturę kontrolowania prądu z regulatorem.



Rys. 4. Układy pomiarowe prądu z regulacją dla różnych połączeń (źródło: opracowanie własne).

SCHEMAT STEROWNIKA

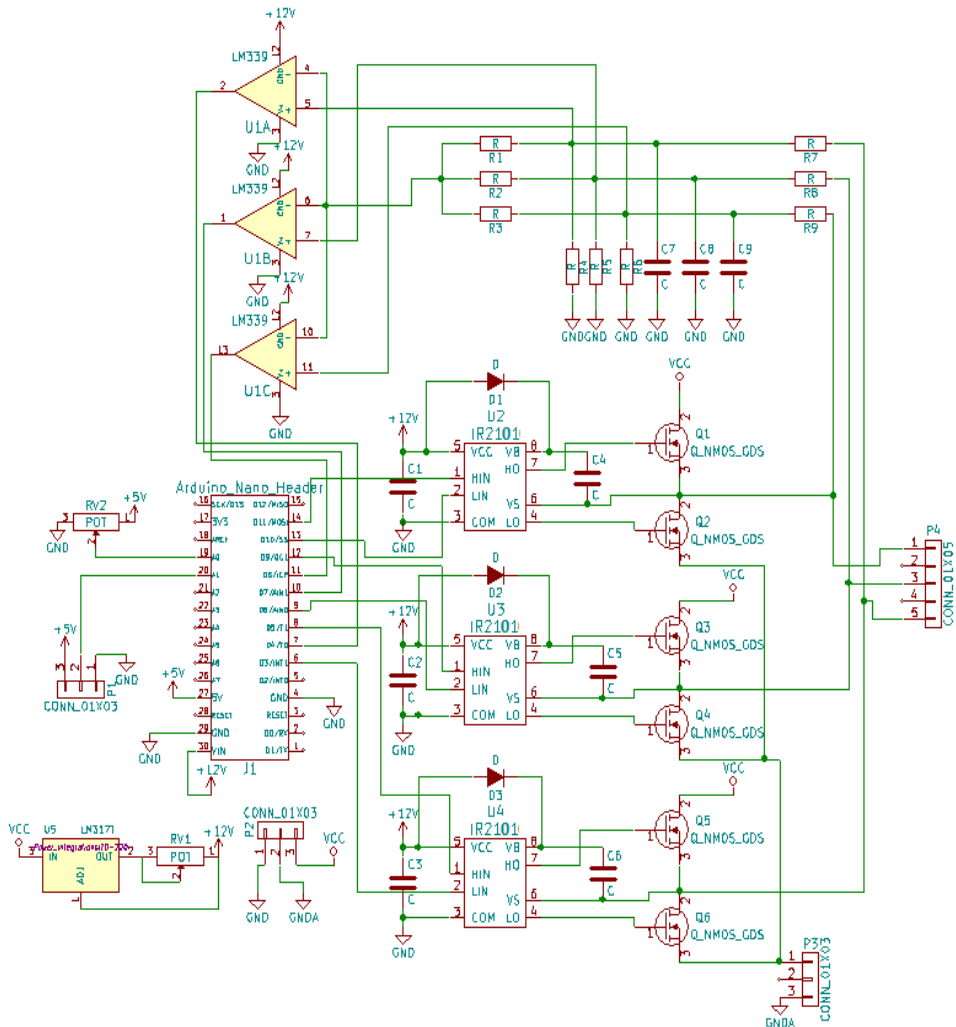
Opracowany sterownik ma za zadanie regulować moment obrotowy przy stałej prędkości obrotowej. Komutacja elektroniczna ma zachodzić na podstawie sygnałów z układu detekcji przejścia siły elektromotorycznej przez zero. Aby układ pracował w zamierzony sposób należy odpowiednio dobrać elementy składowe sterownika.

Ze względu na powszechne użycie akumulatorów o napięciu znamionowym 12 V lub o rozmiarze 3S (11,1 V) driver został dostosowany do pracy przy 12 V bądź niższym (minimum 5 V). Prąd jaki może przepłynąć przez sterownik zależy od parametrów tranzystorów odpowiadających za klucowanie układu.

Na rysunku 5 przedstawiono zaprojektowany schemat sterownika do silnika BLDC. Został on zaprojektowany w środowisku KiCad, który umożliwia opracowanie schematu na podstawie istniejących części a następnie wykonanie projektu płytki PCB w celu jej wykonania. Składa się on z czterech głównych części:

- główna jednostka sterująca pracą całego sterownika,
- część klucująca,
- układ pomiaru SEM,
- część pomiarowa prądu dołączona jako oddzielny moduł.

Jako główną jednostkę sterującą wybrano platformę Arduino Nano z mikrokontrolerem Atmega328. Procesor posiada sześć wyjść PWM (ang. *Pulse-Width Modulation*) potrzebnych do sterowania bramką wszystkich tranzystorów oraz umożliwia odczyt binarnych wartości pochodzących z układu pomiarowego SEM.



Rys. 5. Schemat sterownika silnika BLDC (źródło: opracowanie własne).

Na pomiar napięć wyjściowych z modułu pomiarowego prądu oraz z potencjometru pozwalają wejścia analogowe mikroprocesora. Arduino Nano posiada dedykowaną platformę programistyczną Arduino IDE, która upraszcza

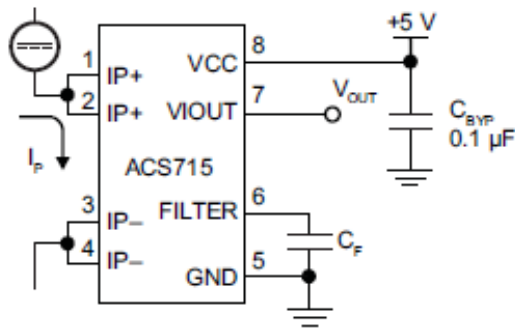
sposób pisania kodu, a nawet pozwala na odczyt bieżącego stanu procesora za pomocą odpowiednich algorytmów co znacznie ułatwia nastawianie cyfrowego regulatora PID. W celu zasilenia wszystkich elementów nie będących na torze przepływu prądu silnika zastosowano stabilizator LM317.

Układ kluczujący ma zapewnić przepływ zadanej wartości prądu przez odpowiednie fazy silnika w danym czasie. Funkcję takiego zaworu w sterowniku pełnią tranzystory mosfet (ang. Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) wytrzymujące większy przepływ ładunku niż tranzystory bipolarne. Driver posiada trzy mosfety IRFP9140PBF typu P jako klucze górne oraz trzy tranzystory STP24NF10 typu N. Tak dobrane elementy pozwalają na przepływ 20A przez uzwojenia silnika.

Bezpośrednie podłączenie tranzystora nie daje dobrych efektów podczas pracy układu w trybie sygnału PWM. Bramka wspomnianych zaworów nie była by rozładowywana oraz ładowana efektywnie. Ten problem niweluje zastosowanie dedykowanych driverów tranzystorów mosfet przystosowanych do pracy przy dużych częstotliwościach. Dla każdej pary tranzystorów został dołączony jeden driver IR2101. Sterownik ten posiada dwa niezależne wejścia, na które podawany jest sygnał wchodzący z mikrokontrolera oraz taką samą liczbę wyjść sterujących, gdzie przebieg jest uzależniony od wartości wejściowych. Wysokie oraz niskie wyjścia pozwalają na dołączenie układu do odpowiedniego punktu o niezerowym potencjale oraz masy. Dodatkowe kondensatory mają na celu niwelowanie zmian prądu stają się częściami przewodzącymi podczas gdy następują nieoczekiwane wzrosty lub spadki. Służą to ochronie układu przed przeciążeniem oraz zapewnieniu stałego przepływu prądu przez driver.

Do pomiaru siły elektromotorycznej wykorzystany został układ detekcji SEM, w którym nie ma możliwości dostępu do punktu neutralnego silnika. Zaletą takiego układu jest uniwersalność zastosowania do dowolnego napędu BLDC. Rezystory występujące na początku toru pomiarowego mają za zadanie ograniczyć prąd płynący przez układ detekcji aby odpowiednio zabezpieczyć pozostałe elementy przed nadmierną emisją ciepła oraz zminimalizować straty. Zostały one dobrane na wartość 33k Ω . Oporniki zostały również użyte w celu odprowadzenia prądu aby na wejście komparatorów analogowych podany był wyłącznie sygnał napięciowy. Ich odpowiednia, niska wartość, wynosząca 1 k Ω spowoduje odkładanie się nieznacznej ilości napięcia. Dodatkowe rezystory posiadają taką samą wartość czyli 1 k Ω aby sygnały odpowiadały sobie wartościom maksymalnym i służą połączeniu toru w celu zsumowania się

wszystkich SEM w danej chwili. Kondensatory o wartości 100nF odpowiadają za wygładzenie przebiegów sinusoidalnych mierzonych napięć co znacznie ułatwia ich komparację. Siły elektromotoryczne wytwarzane na uzwojeniach silnika porównywane są z zsumowaną wartością. Specjalnie zastosowany układ LM339 posiada cztery komparatory analogowe, z których wykorzystane są jedynie trzy elementy z uwagi na występowanie trzech faz silnika. Zadaniem analogowego komparatora napięcia jest wytworzenie sygnału logicznego na wyjściu w zależności od znaku różnicy napięć wejściowych. Komparator jest elementarnym jednobitowym przetwornikiem analogowo-cyfrowym i stanowi ogniwo pośrednie między układami analogowymi i cyfrowymi. Innymi słowy zamienia on przebieg analogowy na proporcjonalny, dwustanowy przebieg cyfrowy. Komparator służy, więc, do porównywania dwóch napięć (stałych lub zmiennych) doprowadzonych do jego wejść. Pojawienie się różnicy napięć rzędu ułamka mV między wejściami komparatora wywołuje skokową zmianę poziomu napięcia na wyjściu. Poziom napięcia wyjściowego jest wysoki albo niski, zależnie od znaku różnicy napięć wejściowych [7].

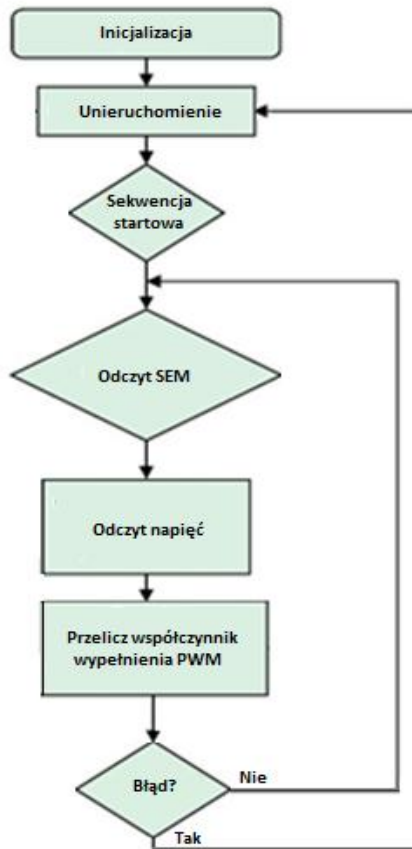


Rys. 6. Moduł pomiarowy z układem ACS715 (źródło: [10]).

Aby poprawnie sterować momentem obrotowym potrzebna jest regulacja prądu. Na rysunku 6 przedstawiono układ pomiarowy prądu ACS715 zamieniający jego wartość na proporcjonalne napięcie logiczne. Moduł umożliwia ekonomiczne oraz precyzyjne odczytywanie prądu stałego w systemach automatycznych. Najczęstszymi aplikacjami układu są kontrola silnika, wykrycie i nadzorowanie obciążenia. Istnieje również możliwość programowego zabezpieczenia sterownika w przypadku zbyt dużego prądu, które spowoduje odcięcie zasilania po przekroczeniu założonej wartości.

Urządzenie zawiera liniowy obwód czujników Halla wraz ze ścieżką przewodzącą ładunek. Przepływ prądu powoduje wytwarzanie się pola magnetycznego, które wykrywane jest przez sensor i proporcjonalnie odzwierciedlane na napięcie wyjściowe. Moduł pomiarowy posiada czułość 100 mV/1 A co pozwala na dość dokładne pomiary w zakresie do 30 A [10].

ALGORYTM STEROWANIA



Rys. 7. Algorytm sterowania bezczujnikowego silnika BLDC (źródło: opracowanie własne).

Praca układu zaczyna się od ustawień początkowych deklarujących odpowiednią konfigurację pinów. Następnie działanie zaczyna funkcja startowa silnika mająca na celu wstępny rozruch. Ustalony jest z góry czas przełączania pomiędzy kolejnymi etapami komutacji elektronicznej napędu. Tak wykonana

kilkukrotnie sekwencja skutkuje powstaniem prędkości obrotowej przy której możliwy będzie pomiar siły elektromotorycznej aby działanie odbywało się automatycznie. Po zakończeniu sekwencji startowej układu następuje wejście do pętli głównej wykonującej się w nieskończoność, aż do momentu ingerencji użytkownika. Sterownik decyduje o chwili przełączenia na kolejny etap komutacji pod wpływem napływających informacji z układu detekcji SEM. W międzyczasie odczytywane są wartości sygnałów analogowych w postaci napięć odkładanych na potencjometrze oraz układzie pomiarowym prądu. Wprowadza to opóźnienia pracy programu, ale są one praktycznie niezauważalne ze względu na dużą częstotliwość taktowania procesora. Obie wielkości wczytywane są do funkcji, która realizuje algorytm cyfrowego regulatora PID. Wynikiem operacji przeprowadzonych przez regulator jest wartość współczynnika wypełnienia sygnału PWM podawanego na układ kluczujący z wyjść mikrokontrolera. Tak działający sterownik pozwala na sterowanie prądowe w czasie rzeczywistym przy stałej prędkości obrotowej [9].

PODSUMOWANIE

Zagadnienie sterowania silnikiem bezszczotkowym prądu stałego obejmuje szeroki zakres tematyki przez co temat pozostaje nadal otwarty dając możliwość kontynuowania badań pod kątem ulepszenia lub modernizacji układu w celu zastosowania innej metody sterowania.

Zastosowanie bezczujnikowej metody sterowania komutacją elektroniczną pozwala na użycie regulatora do dowolnego silnika z jedynym ograniczeniem napięcia i prądu pobieranego przez napęd. Regulacja momentu obrotowego pozwala na ekonomiczną pracę poprzez dostosowanie mocy do obciążenia roboczego.

Efektom pracy jest płytka PCB wykonana z opisanych wcześniej elementów. Została wykonana metodą termotransferu i zawiera elementy THT, które wymagają dużego przepływu prądu oraz części SMD redukujące ilość zajmowanego miejsca na obwodzie drukowanym. Największą przeszkodą stojącą nad sfinalizowaniem pracy było opracowanie odpowiedniego procesu termotransferu w celu idealnego odzwierciedlenia ścieżek płytki PCB na laminacie pokrytym miedzią.

LITERATURA

- [1] Przepiórski J., *Silniki elektryczne w praktyce elektronika*. Wydawnictwo BTC, 2012
- [2] Krykowski K., *Silnik PM BLDC w napędzie elektrycznym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2011
- [3] Zawirski K., Deskur J., Kaczmarek T., *Automatyka napędu elektrycznego*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2012
- [4] Juszczak M., *Badanie własności napędów elektrycznych stosowanych w robotyce*, Praca dyplomowa, Wrocław, 2006
- [5] Goryca Z., *Bezszcotkowe silniki prądu stałego – konstrukcje i sterowanie*, Automatyka-Elektryka-Zakłócenia nr 3/2013, Radom, 2013
- [6] Nowak M., *Model matematyczny symulacyjno-komputerowy układu napędowego reaktora polimeryzacji z modelową wersją silnika BLDC w wykonaniu rurowym*, Maszyny Elektryczne nr 2/2013, Gliwice, 2005
- [7] Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki, cz 1 i 2*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ, 2012
- [8] Januszewski S., Świątek H., Zymmer K., *Przyrządy energoelektroniczne i ich zastosowania*, Wydawnictwo książkowe instytutu elektrotechniki, Warszawa, 2008
- [9] Żelazny M., *Podstawy automatyki*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1976
- [10] Nota katalogowa, ACS715, Allegro, 2013

PROJEKT FAZOMIERZA MIKROPROCESOROWEGO Z FUNKCJĄ POMIARU CZĘSTOTLIWOŚCI

WSTĘP

Pomiar przesunięcia fazowego to zagadnienie, które towarzyszy elektrotechnice od dawna. W układach elektrycznych przesunięcie fazowe jest powodowane stosowaniem elementów indukcyjnych oraz pojemnościowych. Znajomość przesunięcia fazowego umożliwia m.in. obliczenie mocy w układzie jak i obliczenie wartości chwilowych prądów oraz napięć. Napięcia i prądy sinusoidalne występujące w obwodzie badanym, mają często jednakową częstotliwość, a różnią się amplitudą i fazą początkową. Przesunięciem fazowym przebiegów sinusoidalnych nazywamy różnicę faz dwóch przebiegów o tej samej częstotliwości.

Pomiary kąta fazowego można podzielić na dwie grupy: pomiary za pomocą techniki cyfrowej oraz pomiary realizowane drogą analogową. Pierwszy sposób jest dobry do mierzenia przesunięcia fazowego przy wysokich częstotliwościach natomiast drugi najlepiej nadaje się do pomiaru przesunięcia fazowego przy małych częstotliwościach. W pierwszym przypadku zaletą są precyzyjne pomiary przedziałów czasu oraz okresu sygnałów, niestety zakres napięć wejściowych jest ograniczony. Z kolei w przypadku małych częstotliwości można mierzyć sygnały o znacznie różniących się amplitudach oraz o dużo większym zakresie napięć wejściowych. Niestety wyniki są obciążone większym błędem wynikającym z dokładności komponentów używanych w fazomierzach analogowych.

Przedmiotem tej pracy jest przedstawienie koncepcji fazomierza cyfrowego opartego na mikrokontrolerze, a także przedstawienie jego zasady działania oraz właściwości.

Pomiar kąta fazowego w technice cyfrowej najczęściej odbywa się poprzez pomiar czasu pomiędzy zboczami narastającymi dwóch sygnałów mierzonych.

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii, Koło Naukowe Automatyki

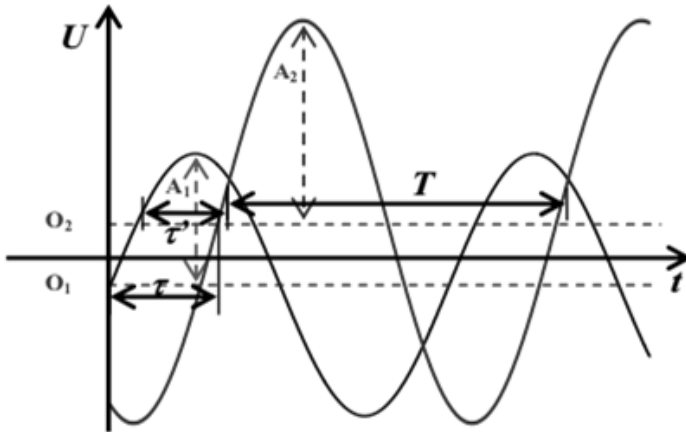
²Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii

Przy założeniu idealnych warunków pomiarowych do pomiaru fazy można posłużyć wzorem (1):

$$\varphi = \frac{\tau}{T} * 360^\circ \quad (1)$$

gdzie: τ - czas liczony między wystąpieniem zboczy narastających sygnałów napięciowych U_1 oraz U_2 , T - okres mierzonych sygnałów.

W warunkach rzeczywistych występują błędy, które należy wyeliminować. Są to, między innymi, błąd powodowany przez występowanie składowych stałoprądowych oraz błędy związane z niezerowymi poziomami wyzwalania na wejściach komparatora. Wymienione błędy powodują, że faktycznie mierzony przedział czasu pomiędzy zboczami narastającymi sygnałów napięciowych U_1 i U_2 jest różny od rzeczywistego. Rzeczywistą sytuację pomiarową można zaobserwować na rysunku 1.



Rys. 1. Rzeczywista sytuacja pomiarowa [1]: O_1, O_2 – poziom składowych stałoprądowych, τ' – mierzony przedział czasu, τ – rzeczywisty przedział czasu przesunięcia pomiędzy przebiegami, T – okres sygnału, A_1, A_2 – amplitudy sygnałów napięciowych.

Po uwzględnieniu błędów zmodyfikowany wzór na przesunięcie fazowe (2):

$$\varphi = \frac{\tau}{T} * 360^\circ = \frac{\tau'}{T} * 360^\circ - \delta_1 + \delta_2 + \delta_A - \delta_B \quad (2)$$

gdzie: δ_1, δ_2 – błędy wynikające z obecności składowych stałych (błędy offsetu), δ_A, δ_B – błędy związane z niezerowymi poziomami wyzwalania na wejściach komparatora.

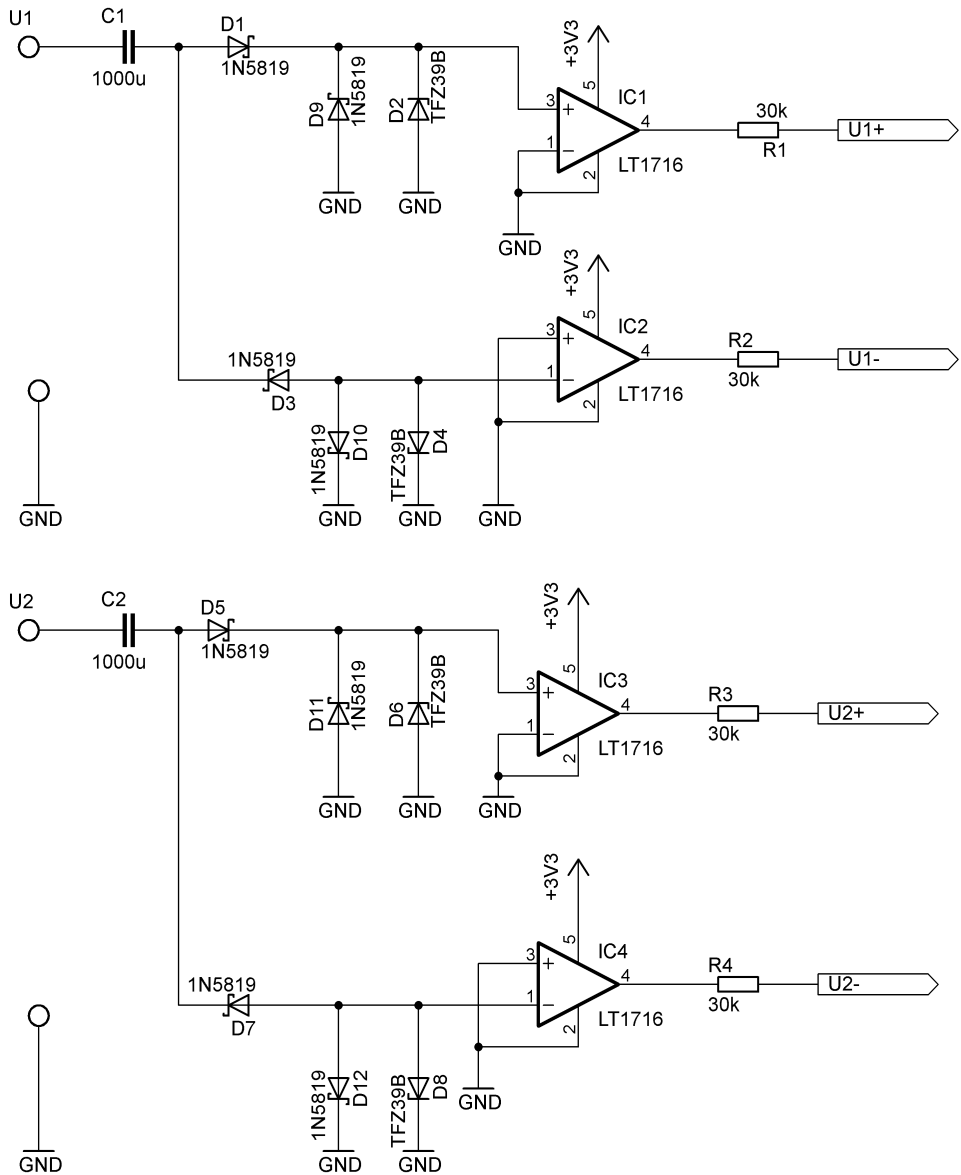
ZALOŻENIA PROJEKTOWE

Napięcie zasilające układ powinno wynosić 230VAC, ponieważ jest to powszechnie dostępne źródła zasilania. Zakres napięć wejściowych określono na 1-20V. Zakres mierzonej częstotliwości objęto przedziałem 0,1-10000Hz. Budowany układ powinien zapewnić eliminację błędów offsetu oraz histerezy poprzez układ kondycjonowania oraz algorytm pracy.

STRUKTURA SPRZĘTOWA

Koncepcja układu polega na użyciu mikrokontrolera, do którego docierają sygnały z układu kondycjonowania. Na podstawie doprowadzonych sygnałów realizowany jest algorytm pomiaru częstotliwości i przesunięcia fazowego. W wyniku przeprowadzonego pomiaru na wyświetlaczu wyświetlana są zmierzone wartości przesunięcia fazowego i częstotliwości.

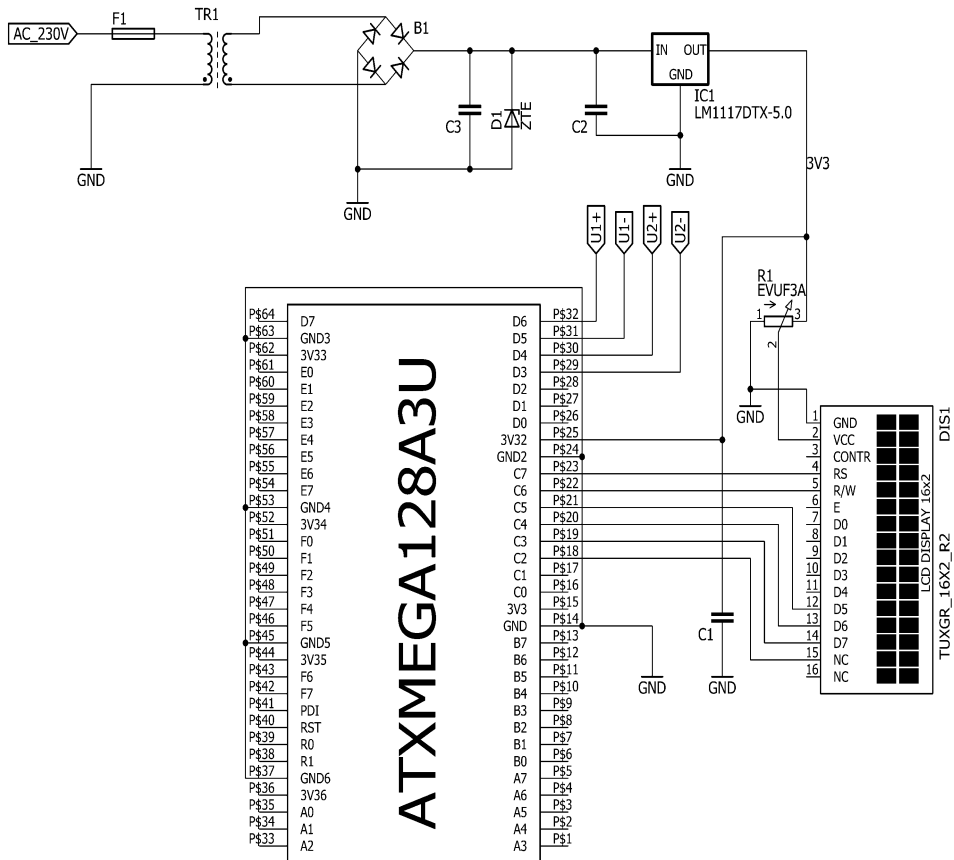
Działanie układu kondycjonowania polega na zamianie sygnałów sinusoidalnych na sygnały cyfrowe. Schemat układu jest widoczny na rysunku 2. Procedurę można podzielić na kilka kroków. Zasadę działania układu można opisać poprzez określenie funkcji poszczególnych elementów. Układ składa się z 2 kanałów, dla uproszczenia nazwanych U_1 oraz U_2 , każdy z nich pozwala na kondycjonowaniu jednego z napięć wejściowych. Każdy kanał jest podzielony na dwie gałęzi odpowiadające za formowanie sygnałów wejściowych. Z kanału U_1 powstają sygnały U_{1+} i U_{1-} oraz analogicznie z kanału U_2 powstają sygnały U_{2+} i U_{2-} . Sygnały wejściowe często posiadają niezerowy poziom składowej stałej, co mogłoby spowodować znaczne błędy pomiarowe. Z tego powodu w układzie zastosowano kondensatory (C1,C2 rysunek 2), które skutecznie eliminują składowe stałe z obydwu kanałów U_1 oraz U_2 . Diody Schottky'ego (D1, D3, D5, D7, D9, D10, D11, D12) formują przebiegi jednopółkwe trafiające na wejścia komparatorów typu LT1716.



Rys. 2. Schemat układu kondycjonowania sygnałów wejściowych

Komparatory napięć pracują jako jednobitowy przetwornik ADC, w powyższym przypadku zamieniając przebieg sinusoidalny na prostokątny. W projekcie został zaproponowany komparator LT1716. Ten model komparatora działa na poziomie napięć wejściowych od 2,7 V do 44 V, co równe jest ok. 2 V do 31 V wartości skutecznej napięcia sinusoidalnego. Prąd

spoczynkowy to jedynie $35 \mu\text{A}$. Wbudowany w komparator rezystor chroni wejścia przed dostaniem się napięć ujemnych większych niż -5 V . Zaletą tego komparatora są także bardzo małe wymiary. Sygnały prostokątne z wyjść komparatora są podawane na odpowiednie piny mikrokontrolera zgodnie z rysunkiem 3. Widoczne w układzie diody Zenera (D2, D4, D6, D8 rysunek 2) zastosowane są, aby chronić komparator przed napięciami o wartości wyższej niż 39 V .

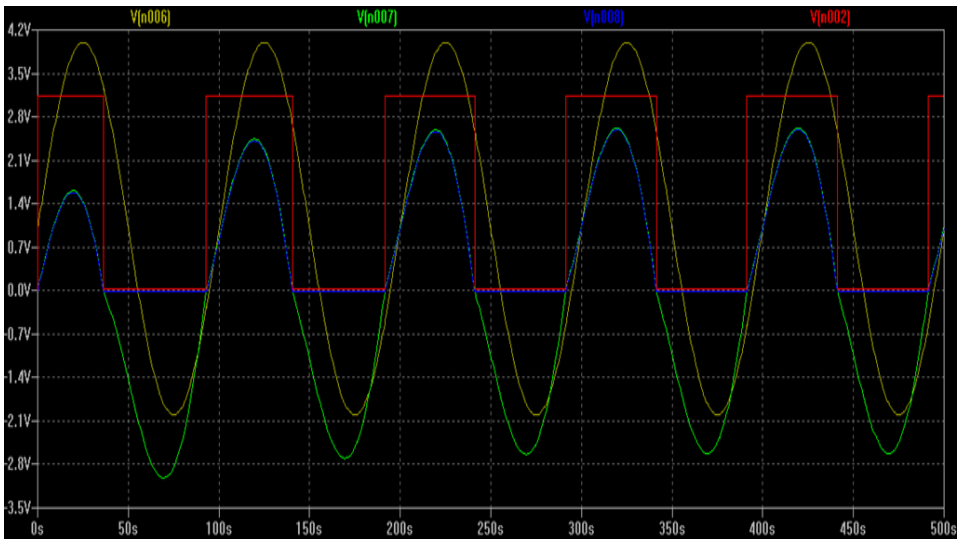


Rys. 3. Schematy połączeń mikrokontrolera i zasilacza

SYMULACJE

Aby potwierdzić założenia teoretyczne, co do poprawnego funkcjonowania układu przeprowadzono symulacje prezentujące poprawność zaproponowanego rozwiązania. Do przeprowadzenia symulacji użyto programu LTSpice IV v.4.23j. Na rysunku 4 można zaobserwować przykładowe przebiegi na gałęzi odpowiedzialnej za formowanie dodatnich wartości sygnału wejściowego na kanale U_I .

Kolorem żółtym oraz indeksem V(n006) jest oznaczone napięcie docierające do układu. Jak widać na rysunku różni się ono od sygnału zielonego oznaczonego indeksem V(n007) o wartość offsetu, ponieważ przebieg zielony to sygnał na wyjściu kondensatora filtrującego składową stałą. Diody Schottky'ego spełniają swoją rolę formując sygnał niebieski, który jest sygnałem jednopółkwyowym oznaczonym indeksem V(n008). Ostatni z sygnałów to sygnał docierający do mikrokontrolera. Jest to sygnał czerwony v(n002). Ten sygnał to nic innego jak sygnał z wyjścia komparatora LT1716.



Rys. 4. Symulacja działania układu kondycjonowania w programie LT Spice IV

Przetworzeniem sygnałów na interesujące nas wartości zajmuje się mikrokontroler. Zaproponowano konkretny model ATXmega128A3U. Ten model mikrokontrolera posiada wewnętrzny generator RC i pętlę PLL, która zwiększa częstotliwość pracy do maksimum 32 MHz.

Mikrokontrolery AVR Xmega AU to rodzina o niskim poborze mocy oraz wysokiej wydajności. Urządzenia te potrafią uzyskać przepustowość zbliżającą się do miliona operacji na sekundę. Napięcie zasilania wynosi od 1,6 V do 3,6 V. Częstotliwość taktowania procesora wynosząca maksymalnie 32 MHz jest możliwa do osiągnięcia już przy napięciu 2,7 V. Wszystkie te zalety spowodowały, że do niniejszego projektu wybrany został właśnie mikrokontroler ATXmega. Na rysunku 4 podano schemat połączeń mikrokontrolera użytego w projekcie.

Sygnaly pochodzące z komparatora są doprowadzane do mikrokontrolera, który realizuje algorytm a następnie wyświetla wyniki na wyświetlaczu. Sygnaly te widoczne na rysunku 3 oznaczone są jako: $U_{1+}; U_{1-}; U_{2+}; U_{2-}$. Do wyświetlenia wyników użyto wyświetlacza alfanumerycznego LCD 16x2 (2 wiersze po 16 znaków każdy).

ALGORYTM

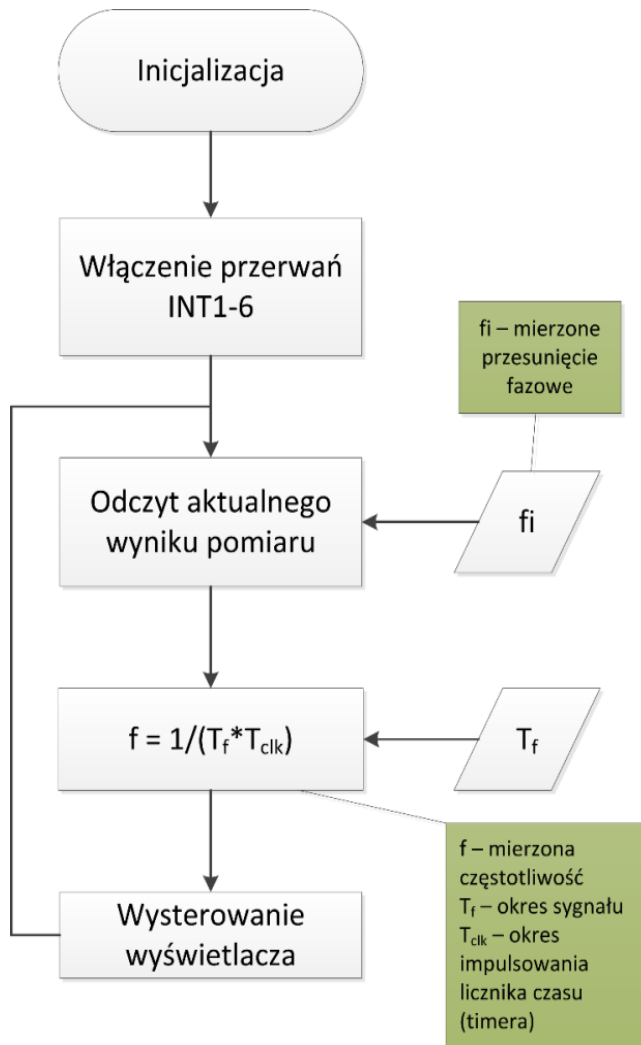
Algorytm główny, którego schemat blokowy przedstawiony został na rysunku 5. polega w głównej mierze na prezentacji danych zebranych podczas obsługi przerwań załączanych przez timery. Przerwania te są uruchamiane po wykryciu zboczy narastających lub opadających sygnałów na obu kanałach. Do obliczenia częstotliwości sygnałów wykorzystywany jest wzór (3) natomiast do obliczenia przesunięcia fazowego algorytm wykorzystuje wzór (4).

$$f = \frac{1}{T_f T_{clk}} \quad (3)$$

$$\varphi = \left(360 * \frac{T_{fi}}{T_f} + 0,5 * T_{off1} - 0,5 * T_{off2} \right) * T_{clk} \quad (4)$$

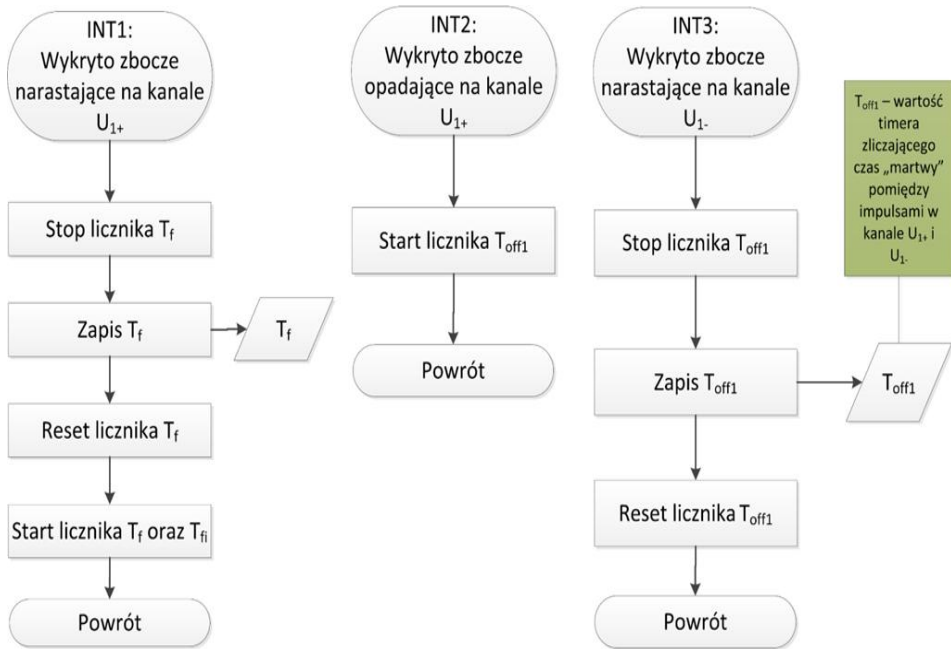
gdzie: T_{fi} – wartość timera zliczającego czas pomiędzy wystąpieniem zbocz narastających na kanałach U_{1+} i U_{2+} , T_f – wartość timera zliczającego okres sygnału, T_{off1} – wartość timera zliczającego czas martwy pomiędzy impulsami na kanale U_{1+} i U_{1-} , T_{off2} – wartość timera zliczającego czas martwy pomiędzy impulsami na kanale U_{2+} i U_{2-} , T_{clk} – okres impulsowania timerów.

Czas martwy jest to okres, gdy wartości obydwu sygnałów U_{1+} i U_{1-} na wyjściu komparatora są bliskie zeru. Po wczytaniu danych z pamięci program oblicza wartość przesunięcia fazowego φ oraz częstotliwość f . Wyniki można zaobserwować na wyświetlaczu.



Rys. 5. Algorytm sterowania, program główny

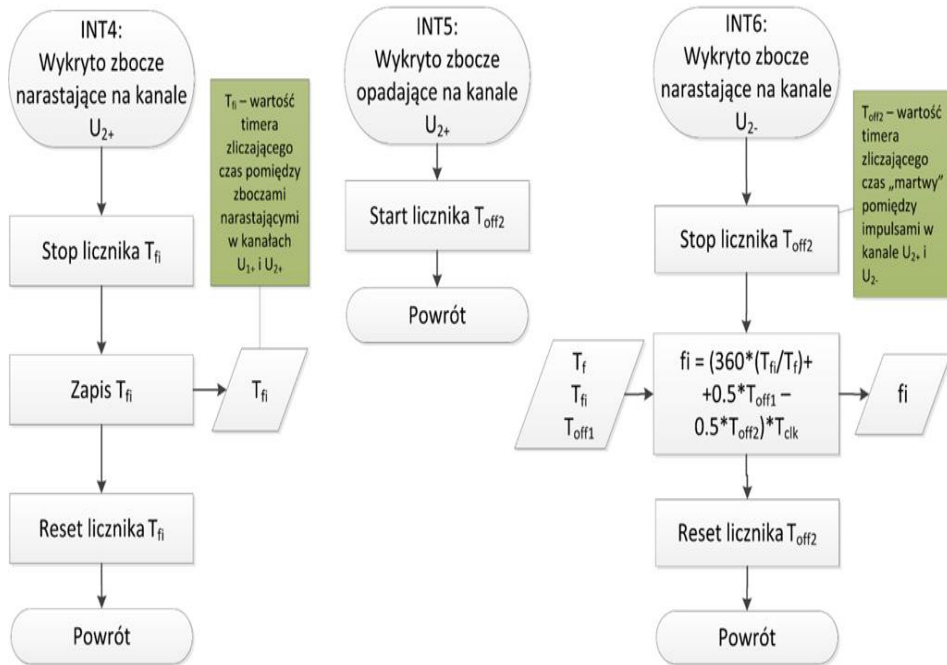
Pierwsze trzy przerwania obejmują sygnały na kanale pierwszym. Przerwanie INT1 (rys. 6) rozpoczyna swoją pracę po wykryciu zbocza narastającego na kanale U_{I+} . Do pamięci mikrokontrolera zostaje zapisana wartość timera T_f , po czym następuje reset timera T_f oraz start timerów T_f oraz T_{fi} . Blok oznaczony jako „Powrót” oznacza zakończenie obsługi przerwania, czyli powrót do programu głównego.



Rys. 6. Algorytm sterowania, przerwania 1-3

Przerwanie INT2 uruchamiane jest po wykryciu zbocza opadającego na tym samym kanale. Wówczas zgodnie z algorytmem uruchamiany jest timer T_{off1} , który zlicza czas martwy pomiędzy impulsami na kanałach U_{1+} i U_{1-} . Timer T_{off1} działa do momentu wykrycia zbocza narastającego na kanale U_{1-} i uruchomienia przerwania INT3. W przerwaniu INT3 timer T_{off1} zostaje zatrzymany oraz jego wartość zostaje zapisana do pamięci. Obsługa przerwania kończy się resetem timeru T_{off1} .

Przerwania INT4 do INT6 odpowiadają za przetwarzanie sygnałów na kanale drugim. Przerwanie INT4 uruchamiane jest po wykryciu zbocza narastającego na kanale U_{2+} . Wówczas zostaje zatrzymany licznik T_{fi} . Wartość timeru T_{fi} zostaje zapisana do pamięci. Kolejne przerwanie INT5 wykonywane jest po wykryciu zbocza opadającego na kanale U_{2+} . W wyniku czego następuje start licznika T_{off2} . Ostatnie przerwanie INT6 obsługiwane jest po wykryciu zbocza narastającego na kanale U_{2-} . Początkowo zatrzymywany jest timer T_{off2} . Następnie zostają wczytanie wartości timerów T_f , T_{fi} oraz T_{off1} , po czym algorytm oblicza aktualne wartości częstotliwości i przesunięcia fazowego zgodnie ze wzorami (3) i (4).



Rys. 7. Algorytm sterowania, przerwania 4-6

Tak obliczone wartości mierzonych wielkości zapisywane są do zmiennych globalnych, z których korzysta program główny. Ostatecznie licznik T_{off2} jest resetowany.

PODSUMOWANIE

Wyniki symulacji potwierdziły pełne spełnienie założeń projektowych. Komparator LT1716 pozwala rozszerzyć zakres napięcia wejściowego do ok. 27V wartości skutecznej napięcia. Dzięki wykorzystaniu mikrokontrolera ATXmega128A3U układ jest w stanie jednocześnie mierzyć przesunięcie fazowe oraz częstotliwość w określonych przy założeniach przedziałach napięć i częstotliwości sygnałów wejściowych. Poprzez zastosowanie kondensatora w układzie kondycjonowania możliwe jest wyeliminowanie błędów offsetu tj. błędów od składowej stałej. Błąd spowodowany histerezą komparatora jest eliminowany w ramach wykonywanego algorytmu. Transformator w zasilaczu zapewnia separację galwaniczną mikrokontrolera od sieci. Zaprojektowany

układ stanowi solidną podstawę do dalszych prac związanych z budową fazomierza i implementacją zaproponowanego algorytmu.

LITERATURA

- [1] Czubla A., Stępniewski J., Konopka J.: *Pomiar różnicy faz sygnałów napięciowych*. PAK, 53, 9, 2007
- [2] Francuz T.: *Język C dla mikrokontrolerów AVR. Od podstaw do zaawansowanych aplikacji*. Gliwice, 2011
- [3] Gajda J., Sroka R.: *Pomiary kąta fazowego. Metody – układy – algorytmy*. Kraków 2000
- [4] Szlachta A.: *Wirtualny fazomierz*. PAK, 53, 12, 2007
- [5] LT1716 - SOT-23, 44V, Over-the-Top, Micropower, Precision Rail-to-Rail Comparator datasheet, <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1716fa.pdf>, 2002.
- [6] Xmega AU Manual, http://www.atmel.com/images/atmel-8331-8-and-16-bit-avr-microcontroller-xmega-au_manual.pdf, 04/2013
- [7] 8/16-bit Atmel XMEGA A3U Microcontroller datasheet, http://www.atmel.com/images/atmel-8386-8-and-16-bit-avr-microcontroller-atxmega64a3u-128a3u-192a3u-256a3u_datasheet.pdf, 09/2014

BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI MECHANICZNYCH POŁĄCZEŃ DRUTOWYCH DO WARSTWY Z MIEDZI I ALUMINIUM WYKONANYCH METODĄ ULTRATERMOKOMPRESJI

WSTĘP

Ostatnie lata przyniosły wysoki rozwój mikroelektronicznych układów scalonych. Najważniejszą kwestią podczas ich produkcji jest odpowiednie połączenie wszystkich elementów. Ten newralgiczny punkt decyduje o niezawodności całego układu. Ze względu na dużą ilość połączeń występujących w układach scalonych, operacje montażowe są nie lada wyzwaniem, ze względu na skomplikowaną procedurę ich wykonywania. Połączenia powinny charakteryzować się dużą niezawodnością. Duży wpływ na wybór danej techniki łączenia danego układu ma środowisko, w którym będzie on użytkowany. Na przełomie wielu lat ulepszano już wykorzystywane metody, przyczyniając się do powstawania nowych, łączących zalety poprzednich.

Niniejsza praca została poświęcona zagadnieniom związanym z techniką montażu drutowego (ang. *wire bonding*). Jest to najstarsza i najpowszechniej stosowana technika wykonywania połączeń elektrycznych pomimo rozwoju innych rozwiązań technologicznych. Przedstawiona została najpopularniejsza metoda wykonywania połączeń drutowych, metoda ultratermokompresji, jej wady i zalety oraz procedura wykonania.

Proces rozpylania jonowego

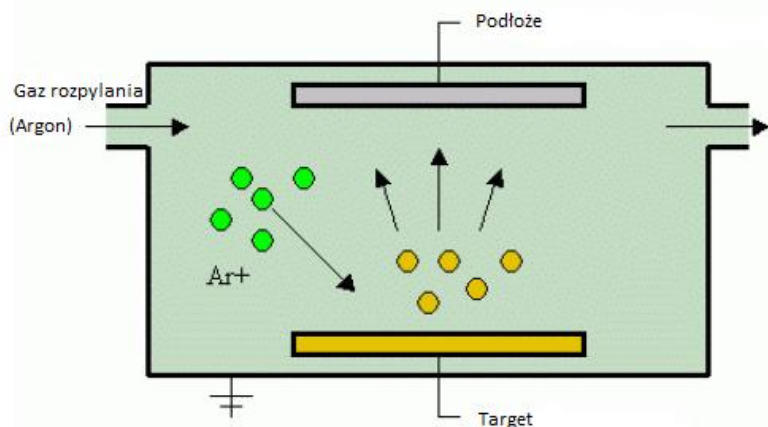
Pierwszym etapem realizacji projektu było wykonanie płytki podłożowej. W celu wykonania metalizacji aluminium i miedzi zastosowano napyłarkę NANO 36™ firmy Kurt J. Lesker® będącą na wyposażeniu Instytutu Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Lubelskiej (rys. 1). Proces osadzenia powłoki został wykonany metodą rozpylania jonowego [1, 2].

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych Koło Naukowe „SEMICON”



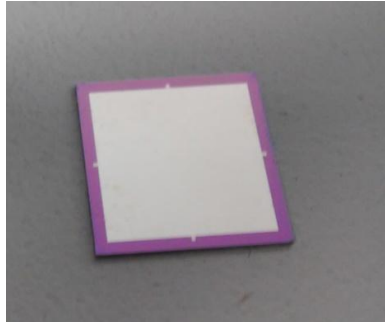
Rys. 1. Napyłarka NANO 36™ [9]

Proces rozpylania jonowego zwana również rozpylaniem magnetronowym (ang. *magnetron sputtering*) lub napyłaniem metodą sputteringu polega na uwolnieniu atomów z materiału osadzanego, za pomocą cząstek gazu obojętnego (najczęściej argonu), na które działa energia kinetyczna. Powstające w obszarze plazmy cząsteczki bombardują materiał osadzany tzw. target, który zazwyczaj ma postać płaskiego walca. Wybite z niego atomy osadzają się na całej powierzchni komory, w której odbywa się proces oraz na płytkach podłożowych znajdujących się w środku (rys. 2). Takie działanie powoduje nierównomierne zużywanie się materiału, zanieczyszczenie komory i zużywanie większej niż potrzebna ilości materiału [3, 4] .



Rys. 2. Schemat rozpylania jonowego w komorze próżniowej [10]

W trakcie realizacji badań na płytce krzemowej napyłono warstwę aluminium o grubości 1 μm (rys. 3). Czas procesu osadzania wyniósł 312 minut. Należy jednak wspomnieć, że nie była to wartość zmierzona w oddzielnym procesie. Wartość grubości osadzonej warstwy jest jedynie wartością odczytaną ze wskazań napyłarki. Osadzona warstwa metalizacji aluminiowej okazała się mieć wystarczającą grubość oraz dostateczną czystość do wykonania na niej połączeń drutowych.



Rys. 3. Wykonana płytka podłożowa z osadzoną metalizacją aluminiową

Następnym krokiem było osadzenie metalizacji miedzi na płytkę krzemową o średnicy 75 mm (rys. 4). Miedź wybrano ze względu na jej szerokie zastosowanie w mikroelektronice. Jako materiał przewodzący, odznaczając się dobrymi właściwościami mechanicznymi, jest doskonałą alternatywą dla droższego srebra. W Instytucie Technologii Elektronowej zmierzono grubość warstwy i pocięto płytkę na mniejsze części, w celu łatwiejszego posługiwania się podłożem. Grubość napyłonej warstwy miedzi wynosiła 100 nm, co okazało się wartością niewystarczającą.

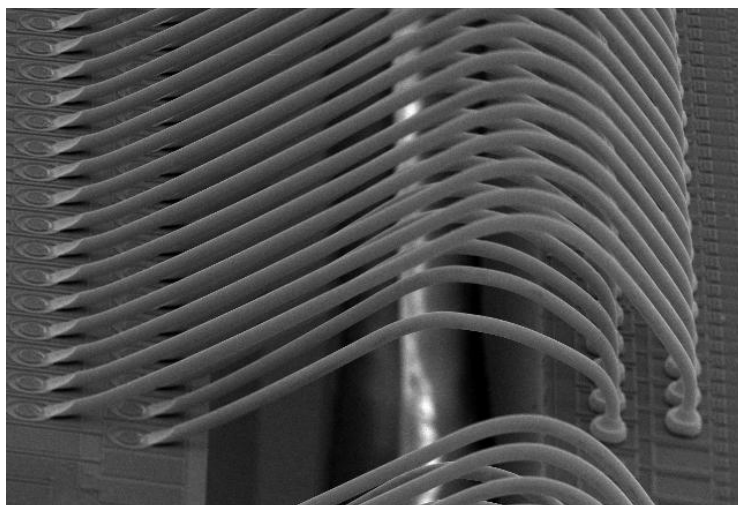


Rys. 4. Krzemowa płytka pokryta metalizacją miedzi

Podczas wykonywania połączeń nie można było osiągnąć odpowiedniej przyczepności do nowej warstwy. Ze względu na to, ograniczony czas oraz koszty, jako alternatywę, wykorzystano gotową płytkę zakupioną w firmie Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o. z Łodzi. Była to jednostronna płytka PCB (ang. *Printed Circuit Board*), wykonana z laminatu FR-4, o grubości 0,8 mm i pokryta 35 μm warstwą miedzi. Jest to najbardziej rozpowszechnione podłoże, stosowane w urządzeniach komercyjnych. Charakteryzuje się współczynnikiem rozszerzalności cieplnej zbliżonym do miedzi, dla której wynosi 16 ppm/K, efektem zahamowania palenia (ang. *flame retardancy*, FR), temperaturą zeszklenia (ang. *glass transition*) na poziomie 120–135°C, co jest akceptowalną wartością dla większości jego zastosowań, oraz niską ceną.

MONTAŻ DRUTOWY

Montaż drutowy jest najstarszą technologią wykonywania mikropołączeń, ponieważ został wprowadzony już w roku 1956 przez firmę Bell. Polega ona na łączeniu kontaktów za pomocą drutu umieszczonego pomiędzy tymi złączami w układzie scalonym. W technologii tej wykorzystuje się zazwyczaj drut złoty o średnicach 25–100 μm , który za pomocą ultradźwięków, temperatury oraz nacisku tworzy trwałe złącze z podłożem (rys. 5). Do jego zalet należy odporność na utlenianie się oraz doskonałe przewodnictwo [1, 4-7].

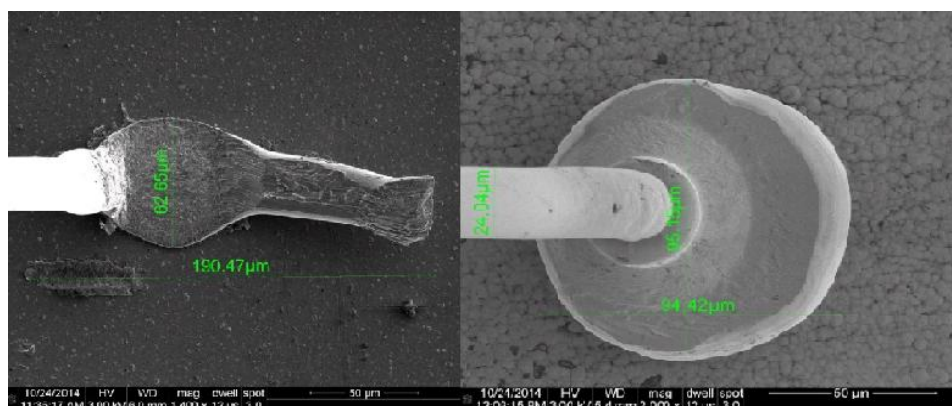


Rys. 5. Mikroskopowe zdjęcie złącza o długości 1 mm [11]

Dużą zaletą tego montażu jest wybór kierunku tworzenia złącza, dzięki czemu proces odznacza się dużą elastycznością. Wysoki poziom automatyzacji pozwala zredukować koszty masowej produkcji. Poza tym, istnieje możliwość kontroli optycznej wykonanych połączeń i ewentualne ich poprawienie. Technologia ta posiada również wady, do których należy mała niezawodność połączeń, ograniczona liczba wykonywanych połączeń na danym obszarze, która osiągnęła już wartość maksymalną oraz wysokie wymagania dotyczące infrastruktury, środowiska i procesów produkcyjnych [1, 4-7].

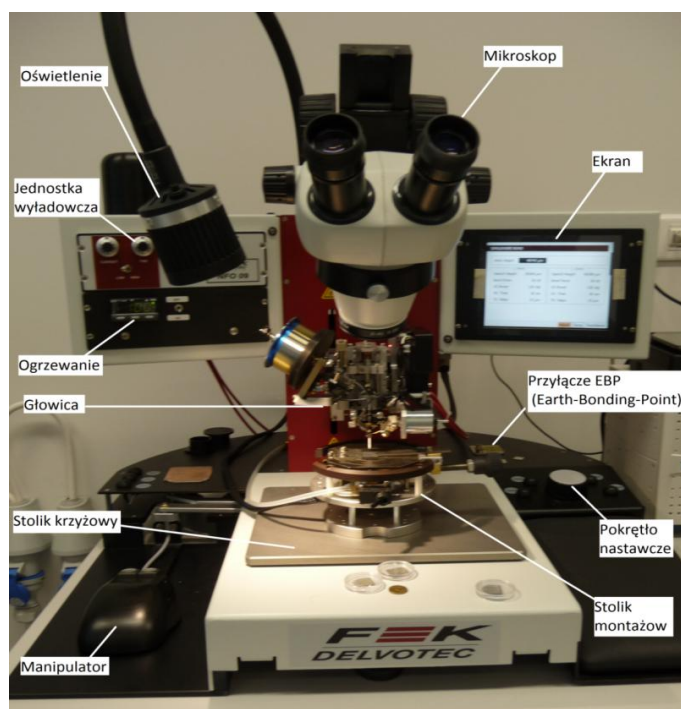
METODA ULTRATERMOKOMPRESJI

Alexander Coucoulas w 1970 r. jako pierwszy połączył energię elektrodźwiękową i temperaturę do wytwarzania połączeń drutowych. Według George'a Harmana, jest on ojcem tej metody, której dał nazwę "Klejenie ultradźwiękowe do pracy na gorąco". Od połowy lat dziewięćdziesiątych, ubiegłego wieku, technologia montażu za pomocą zgrzewania ultratermokompresyjnego zaczyna zyskiwać coraz większą rangę. Łączy ona bowiem zalety zgrzewania termokompresyjnego i ultrakompresyjnego, pozwalając na uzyskanie połączeń o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych. Obecnie zdecydowana większość połączeń w układach scalonych jest wykonywana właśnie tą metodą, przy użyciu drutu złotego, choć wykorzystywany jest także drut miedziany, o większej wytrzymałości. Połączenia wykonane w technologii ultratermokompresji mają kształt znany z technologii termokompresji, czyli pierwsze złącze typu kulkowego, drugie klinowego (ang. *ball-wedge*) (rys. 6). Wynika to z zastosowania tego samego narzędzia – kapilary. W procesie technologicznym wykorzystywana jest podobnie jak w ultrakompresji, energia ultradźwiękowa. W urządzeniach wykonujących połączenia metodą ultratermokompresji możemy więc spotkać elementy znane z innych urządzeń wykonujących połączenia drutowe, między innymi podgrzewany stolik montażowy, kapilarę, generator ultradźwiękowy oraz szczęki przytrzymujące drut [1, 4].



Rys. 6. Złącza wykonane w technologii ultratermokompresji

Podczas wykonywania połączeń tą metodą wykorzystano urządzenie firmy F&K Delvotec, bonder 53xx BDA (rys. 7), będący na wyposażeniu Instytutu Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Lubelskiej. Aby wykonywać połączenia metodą ultratermokompresji, należało wybrać wariant pracy 5310.

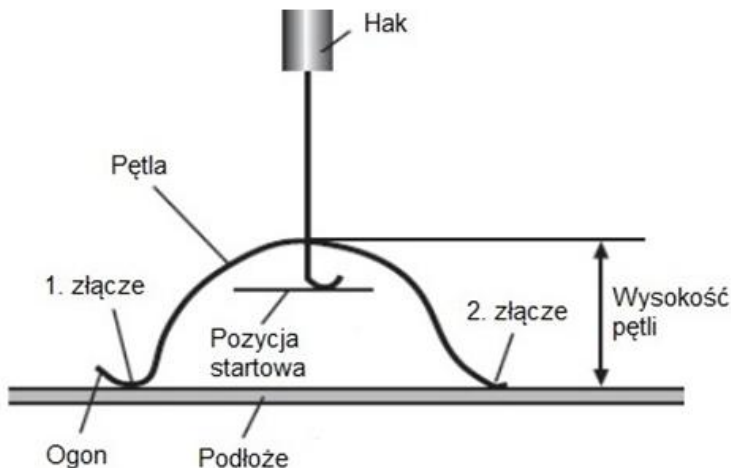


Rys. 7. Bonder 53XX BDA

Narzędziem wykorzystywanym do wykonywania połączeń tą metodą była ceramiczna kapilara, o długości 16 mm oraz kącie stożka równym 30°. Użyto złoty drut o średnicy 25 μm , wyprodukowany przez firmę Heareus, o oznaczeniu Au HD 5. Deklarowana przez producenta siła zerwania dla tego drutu wynosi ponad 14 cN, a wydłużenie od 0,5% do 2,5%. Drut ten charakteryzuje się wysoką wytrzymałością i przeznaczony jest do stosowania w wielowarstwowych strukturach oraz różnego rodzaju obudowach takich jak QFP, PGA, czy PBGA.

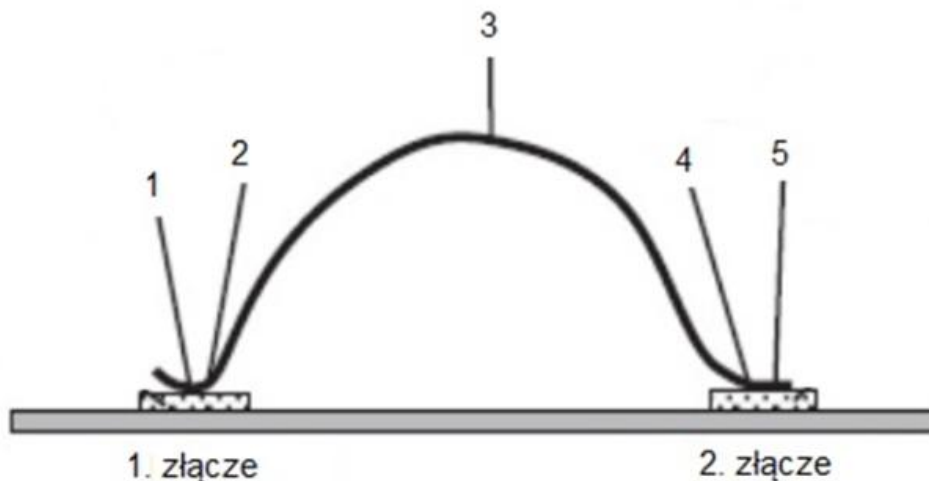
TESTY WYTRZYMAŁOŚCIOWE POŁĄCZEŃ DRUTOWYCH

Najczęściej stosowanym badaniem wytrzymałości złączy jest metoda zrywania drutu (rys. 8) (ang. *pull test*), określająca wytrzymałość mechaniczną połączenia. Za jego pomocą możliwe jest jednoznaczne określenie punktu, w którym złącze jest najsłabsze, co może być spowodowane nieprawidłowym procesem produkcji. Zrywanie dokonuje się na specjalnie przystosowanej do tego zrywarce. Pierwszym krokiem jest umieszczenie haczyka pod pętlę drutu. Podczas mierzenia wytrzymałości połączeń klinowych, umieszcza się go na środku pętli, zaś przy połączeniach kulkowych, haczyk winien znajdować się możliwie jak najbliżej kulki. Następnie zostaje on podnoszony do góry, do momentu zerwania. Informacja o sile zerwania wyświetlana jest na wyświetlaczu [4, 8].



Rys. 8. Schemat przedstawiający metodę badania wytrzymałości, poprzez zerwanie drutu [12]

Podczas wytrzymałościowej próby zerwania połączenia drutowego uszkodzenie może nastąpić w jednej z pięciu pozycji przedstawionych na rysunku 9.



Rys. 9. Miejsca możliwych zerwań drutu. 1 – oderwanie pierwszego złącza (kulkowego lub klinowego) od pola kontaktowego, 2 – przerwanie drutu w miejscu przewężenia przy pierwszym złączu, 3 – przerwanie drutu w miejscu przyłożenia haczyka 4 – przerwanie drutu w miejscu przewężenia przy drugim złączu 5 – oderwanie drugiego złącza od pola kontaktowego [12]

Najkorzystniejszą sytuacją jest zerwanie drutu w miejscu przyłożenia haczyka, ponieważ świadczy to o tym, iż to drut determinuje o sile potrzebnej do zerwania połączenia, które w takim wypadku ma wytrzymałość równą wytrzymałości drutu. Najczęściej jednak dochodzi do zerwania w miejscu przewężenia się drutu zaraz za złączami.

WYNIKI

Tabela 1. Wyniki badania wytrzymałości mechanicznej połączeń drutowych wykonanych na podłożu z metalizacją aluminium

Bond Force	US. Power	US. Time	F	nr zerwania
cN	dig	ms	mN	-
30	130	30	120	2
			119	2
			116	2
			116	2
			110	2
			119	2
			110	2
			114	2
			95	2
			115	2

Tabela 2. Wyniki badania wytrzymałości mechanicznej połączeń drutowych wykonanych na podłożu z metalizacją miedzi

Bond Force	US. Power	US. Time	F	nr zerwania
cN	dig	ms	mN	-
30	130	35	37	5
			41	5
			27	5
			26	5
			32	5
			35	5
			53	5
			49	5
			26	5
			73	5
			25	5

PODSUMOWANIE

1. Na podstawie analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że połączenia na metalizacji aluminium cechują się największą wytrzymałością mechaniczną przy następujących parametrach: siła docisku 30 cN; moc ultradźwięków 130 dig; czas działania ultradźwięków 30 ms. Średnia wartość wytrzymałości połączeń: 113 mN. Jest to wartość zapewniająca pożądaną niezawodność mechaniczną połączenia.
2. Na podstawie danych zaobserwowano, że parametrem mającym zasadniczy wpływ na wytrzymałość mechaniczną połączeń drutowych była siła docisku. Jej zwiększenie do poziomu powyżej 50 mN spowodowało obniżenie wartości wytrzymałości połączenia do nieakceptowalnego poziomu.
3. Na metalizacji miedzi połączenia charakteryzowały się największą wytrzymałością przy zastosowaniu następujących parametrów: siła docisku 30 cN; moc ultradźwięków 130 dig; czas działania ultradźwięków 35 ms. Średnia wytrzymałość połączeń wynosi 39 mN. Połączenia te charakteryzują się niską wytrzymałością.
4. Podczas przeprowadzania badań wywnioskowano, że kluczowym czynnikiem wpływającym na jakość wykonywanych połączeń jest jakość podłoża oraz grubość jego warstwy metalizacji.
5. Zauważono, iż połączenie klinowe powinno wykonywać się przy wyższych wartościach parametrów niż połączenie kulkowe, ponieważ charakteryzuje się mniejszą wytrzymałością.
6. Stwierdzono, na podstawie licznych konsultacji, że aby połączenia charakteryzowały się lepszymi właściwościami, powinno się wykonywać je grubszym drutem, o średnicy $>50 \mu\text{m}$.

LITERATURA

- [1] Szczepański Z., Okoniewski S.: *Technologia i materiałoznawstwo dla elektroników*. WSiP, Warszawa, 2007
- [2] Kisiel R.: *Podstawy technologii dla elektroników*. Wydawnictwo BTC, Warszawa, 2006
- [3] Beck R.: *Technologia krzemowa*, PWN, Warszawa, 1991
- [4] Harman G.: *Reliability and Yield Problems of Wire Bonding in Microelectronics*. ISHM, Reston, 1991
- [5] Felba J.: *Montaż w Elektronice*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2010

- [6] Sclater N.: *Electronics Technology Handbook*. McGraw Hill Professional, 1999
- [7] Tummala R.R.: *Fundamentals of microsystem packaging* . McGraw-Hill Education, 2001
- [8] Wang C., Sun R.: *The quality test of wire bonding*. Modern Applied Science, Vol. 3, No. 12, Tianjin, 2009
- [9] *Bonder 53xx Ball Deep Access, User Guide v3.0*, 2012
- [10] http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/maria/pdf/MF_warstwy.pdf
[dostępny 01.01. 2016]
- [11] Bech D.J., Perez A.C.: *Wire Bond Technology The Great Debate: Ball vs. Wedge*, Advance Packing, march 2007
- [12] http://home.agh.edu.pl/~maziarz/Lecture_1-wire-bonding-en.pdf [dostępny 06.02. 2016]

NOWOCZESNE UKŁADY DETEKCJI ZAGROŻEŃ W SYSTEMACH ALARMOWYCH

WSTĘP

W skład każdego systemu alarmowego wchodzi układy decyzyjne i elementy detekcyjne. Od właściwej czułości sensorów zależy poprawność identyfikacji zagrożenia, z kolei centrala jest niezbędna do wykonania podstawowej funkcjonalności systemu, czyli alarmowania o niebezpieczeństwie.

Wraz z rozwojem układów elektronicznych systematycznie pojawiają się detektory, podnoszące niezawodność działania systemów alarmowych a także spełniające coraz bardziej wyśrubowane normy prawne dla tego typu zabezpieczeń. Przede wszystkim jednak nowe urządzenia dają nieskrępowane możliwości podnoszenia funkcjonalności i integracji dotąd zamkniętych systemów.

CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW ALARMOWYCH

W określeniu „Systemy alarmowe” zawierają się urządzenia, które na podstawie wzajemnej wymiany informacji wykrywają zagrożenie dla ludzi i obiektów. Ze względu na szerokie zastosowanie tego typu układów można wydzielić spośród nich kilka grup ze względu na rodzaj wykrywanego zagrożenia:

- SSWiN – Systemy sygnalizacji włamania i napadu,
- SSP – Systemy sygnalizacji pożarowej,
- CCTV – Systemy telewizji dozorowej,
- KD – Kontrola dostępu.

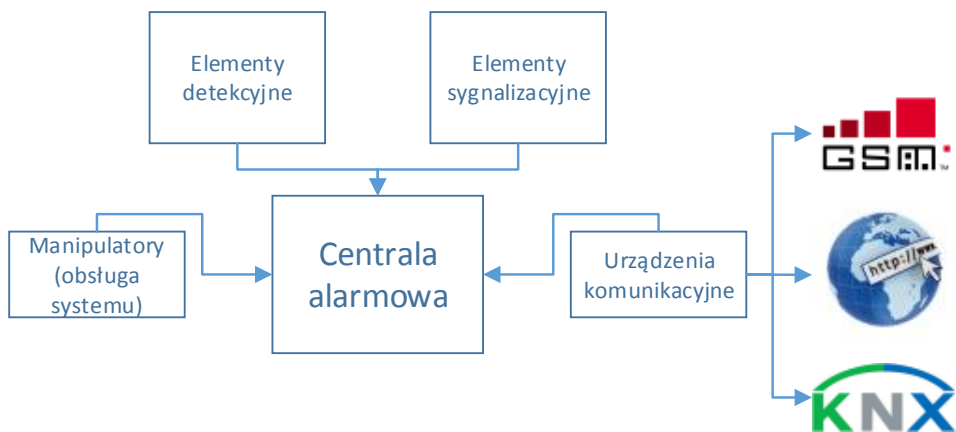
Do systemów SSWiN mają na celu wykryć próbę wtargnięcia do obiektu i niezwłocznie poinformować o tym osoby odpowiedzialne. Istotne jest, że systemy sygnalizacji włamania nie pełnią funkcji fizycznej bariery dla

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Technik Zabezpieczenia Mienia „SABOTAŻ”

włamywacza. Alarmowanie o próbie włamania może odbywać się za pomocą [1]:

- sygnalizatorów optyczno-akustycznych wewnętrznych i zewnętrznych,
- modułów radiowych przekazujących informację do stacji monitorującej,
- modułów komunikujących się z użytkownikiem za pomocą sieci GSM lub Internetu,
- programów do wizualizacji pracy systemów alarmowych.

Systemy sygnalizacji włamania najczęściej połączone są w topologii gwiazdy, czyli każdy z elementów wejściowych i wyjściowych ma bezpośredni kontakt z centralą alarmową. Wyjątkiem są manipulatory i moduły rozszerzeń, dla których producenci tworzą magistrale umożliwiające łączenie dużych ilości tego typu urządzeń [1].



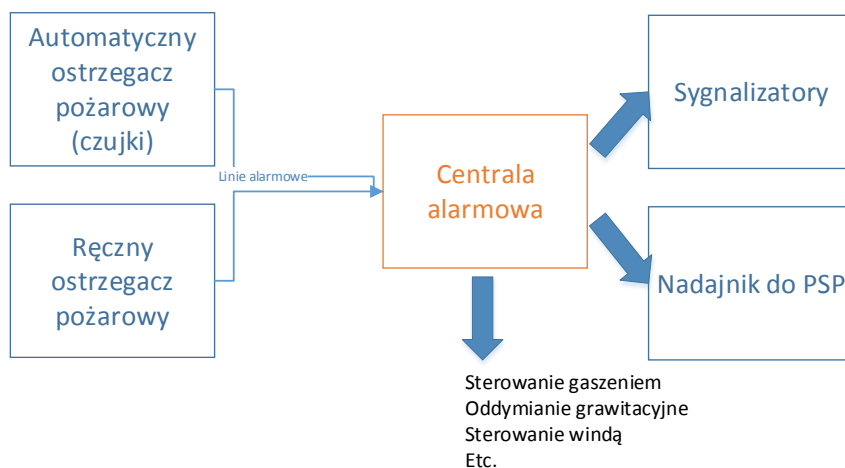
Rys. 1. Topologia systemów SSWiN (źródło: opracowanie własne)

Zadaniem systemów sygnalizacji pożarowej (SSP) jest nadzór nad parametrami termicznymi oraz składem powietrza w obiektach, celem powiadomienia osób przebywających w obiekcie o możliwości zaistnienia zagrożenia pożarowego. Ponadto mają możliwość informowania służb ratunkowych o takim zagrożeniu [3].

SSP mają najczęściej strukturę magistralną, co ma wpływ na zapewnienie niezawodności działania elementów i ciągłej kontroli ich stanu.

Detekcja odbywa się za pomocą:

- czujek dymu,
- czujek temperatury,
- czujek hybrydowych dymu i temperatury,
- czujek gazu (tlenek węgla, propan butan).



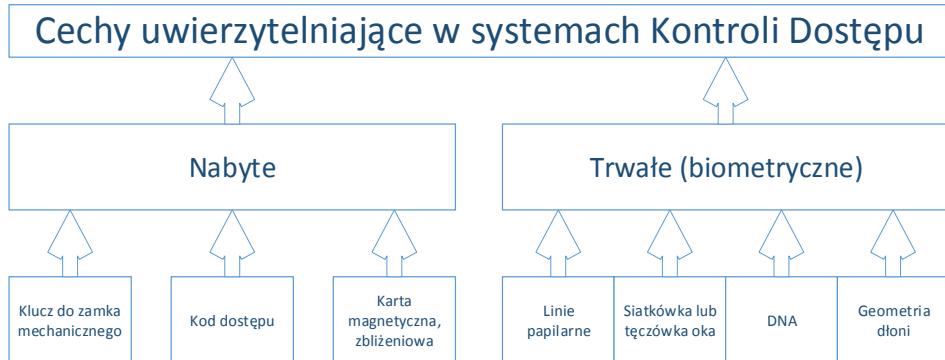
Rys. 2. Topologia systemów SSP (źródło: opracowanie własne)

Dozór wizyjny (z ang. CCTV – Close Circuit Television) polega na ciągłym monitorowaniu określonego obszaru za pomocą przeznaczonych do tego kamer i rejestrowania obrazu. Zazwyczaj systemy CCTV składają się z kamer i rejestratora. Istnieje szereg rozwiązań technicznych warunkujących dobór elementów systemu:

- systemy analogowe,
- systemy analogowo – cyfrowe (AHD),
- systemy cyfrowe IP.

Kontrola dostępu do obiektu polega na wyznaczeniu stref ochrony i zastosowaniu adekwatnych środków technicznych do uniemożliwienia wstępu osobom niepowołanym. Realizacja ochrony wstępu może opierać się o mechaniczne zamki i przydzielenie kluczy, ale w wielu budynkach wymaga się większej funkcjonalności i nadzoru nad uprawnieniami poszczególnych użytkowników. Do tego służą systemy kontroli dostępu, które pozwalają na zróżnicowanie dostępności poszczególnych pomieszczeń, bądź stref chronionych przez ustalone przez administratora osoby [4].

Do uwierzytelnienia i przyznania dostępu używa się metod opartych o właściwości nadane każdemu użytkownikowi, jak również cechy niezbywalne w postaci biometrii.



Rys. 3. Zestawienie metod uwierzytelnienia w KD (źródło: opracowanie własne)

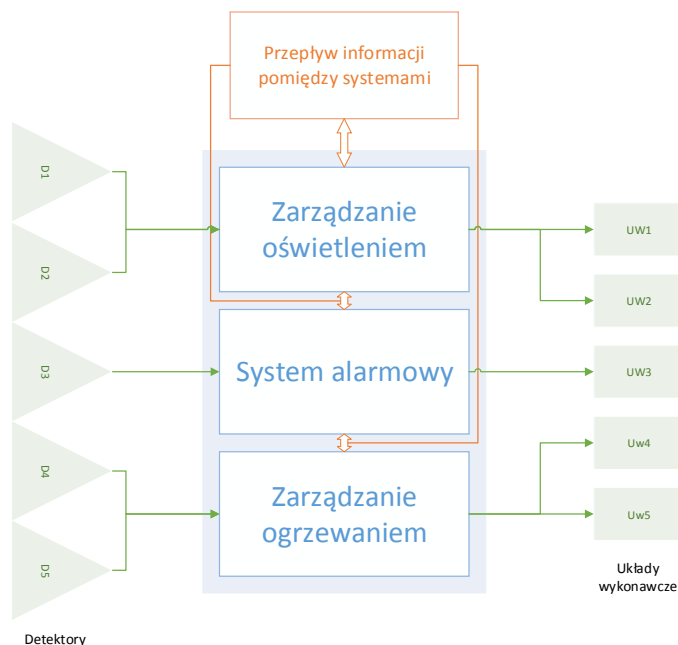
ZINTEGROWANE SYSTEMY ALARMOWE

Do niedawna zagadnienia związane ze współdzieleniem elementów detekcyjnych bądź wykonawczych spotykały się z nieprzychylnym odbiorem. Obecnie integracja systemów jest niezbędna dla osiągnięcia niezawodności, ograniczenia kosztów, a także wystarczającej funkcjonalności zapewniającej opłacalność inwestycji w tego typu urządzenia.

Konieczność integracji wymuszają niekiedy sami producenci urządzeń nie oferując pełnej gamy elementów mogących w kompleksowy sposób obsłużyć wszystkie instalacje w obiekcie.

Rozróżniamy 3 główne metody integracji instalacji w budynku [6]:

- wymiana informacji pomiędzy systemami,
- współdzielenie przez autonomiczne systemy elementów detekcyjnych i wykonawczych,
- realizacja funkcji wielu systemów przez jeden układ sterujący.



Rys. 4. Wizualizacja jednej z metod integracji instalacji budynkowych – wymiany informacji pomiędzy autonomicznymi systemami (źródło: opracowanie własne)

Wynikiem łączenia funkcjonalności systemów jest BMS, czyli Building Management System. Jest to ogólne określenie urządzeń sprawujących kontrolę nad parametrami budynku. W pojęciu tym zawierają się zarówno systemy bezpieczeństwa, od SSWiN poprzez SSP i CCTV, jak i elementy sterujące wszelkimi instalacjami. Kontrola może być sprawowana poprzez uprzednio ustalone przez instalatora algorytmy pracy, jak również bezpośrednio przez operatora przy użyciu panelu sterującego.

TYPOWE ROZWIĄZANIA W ELEMENTACH DETEKCYJNYCH

Urządzenia detekcyjne (sensory) w systemie alarmowym są elementami, które stoją w „pierwszej linii” ochrony przed niebezpieczeństwem i od ich właściwego doboru, czułości i metody montażu zależy skuteczność reakcji układu decyzyjnego. Powszechnie dzieli się sensory na:

- pasywne (kontaktryony, czujki podczerwieni PIR, czujki gazu, dymu),
- aktywne (czujki mikrofalowe).

W przypadku systemów SSWiN prym wiodą czujki ruchu ze względu na skuteczność i łatwość zastosowania w niemal każdym środowisku. Jednak ze względu na zróżnicowane wymagania i ograniczenia w stosowaniu dzieli się je na grupy w zależności od użytej technologii [9].

Pierwszą, najbardziej popularną grupą są czujki pasywne podczerwieni (PIR). Działają one na zasadzie wykrywania zmian promieniowania cieplnego przez czujnik piroelektryczny. Producenci stosują w nich soczewki fresnela, które kształtują pole widzenia czujki w zależności od jej typu (szerokokątna, kurtynowa).

Kolejną grupą są detektory mikrofalowe, w których nadajnik i odbiornik umieszczone są obok siebie. Nadajnik wysyła fale o określonej częstotliwości, które odbijają się od ścian i przedmiotów w pomieszczeniu. Jeśli w pomieszczeniu nie znajduje się żaden przemieszczający się obiekt, częstotliwość fal które odbierze odbiornik będzie taka sama jak częstotliwość fal wysłanych.

Istnieją również urządzenia łączące cechy dwóch wymienionych czujników. Czujki dualne (zespolone) to połączenie co najmniej dwóch modułów np. czujnika PIR i mikrofalowego. W przypadku takiego połączenia sygnał alarmowy do centrali zostanie wysłany w przypadku naruszenia obu czujników w określonym czasie (na przykład 5 sekund).

Inne metody wykrywania zagrożeń stosuje się w przypadku detektorów pożarowych. Pierwszą, często spotykaną metodę wykrywania pożaru wykorzystują czujki optyczne. Reagują one na obecność zadymienia powstałego na skutek wolno rozprzestrzeniającego się ognia. Elementem detekcyjnym jest fotodioda, na którą pada promieniowanie podczerwone emitowane przez wewnętrzne źródło a następnie rozpraszane przez obecność dymu.

Kolejna metoda wykrywania pożaru wykorzystuje czujki jonizacyjne. Wykrywają one niewidoczne produkty spalania, na przykład w przypadku powstania otwartego ognia. Działają na zasadzie zmniejszenia prądu jonizacji w komorze pomiarowej wskutek zmniejszenia się ruchliwości nośników prądu (jonów), do których przyłączają się widzialne i niewidzialne cząstki produktów spalania. Zmniejszenie natężenia prądu jonizacji powoduje włączenie sygnalizacji alarmowej.

CCTV JAKO SYSTEM ALARMOWY

Systemy dozoru wizyjnego mogą pełnić rolę elementów detekcyjnych systemu alarmowego w przypadku wykorzystania detekcji ruchu pod warunkiem, że urządzenie rejestrujące posiada wyjścia alarmowe. Odbywa się to poprzez ustalenie przez instalatora fragmentu obrazu przekazywanego przez kamerę jako obszaru chronionego. W momencie wykrycia zmian obraz może zostać zapisany lub wysłany przez Internet do osoby odpowiedzialnej, a wyjście alarmowe rejestratora przekaże sygnał o naruszeniu do centrali alarmowej.



Rys. 5. Detekcja ruchu skutecznie ogranicza wykorzystanie pamięci dyskowej rejestratora (źródło: [11])

Warto wspomnieć o różnicach pomiędzy detekcją ruchu, a analizą obrazu z kamer. Otóż zdarza się, że te pojęcia są mylone, lub nawet używane zamiennie. Różnica pomiędzy tymi zagadnieniami jest zasadnicza i jest związana z tym, że detekcja ruchu jest prostym mechanizmem wykrywającym jakiegokolwiek zmiany w obrazie. Jest to jednocześnie powód, dla którego nie stosuje się kamer CCTV jako detekcji obecności na terenach otwartych, gdyż jako obecność mogą zostać uznane opady atmosferyczne lub ruch drzew pod wpływem wiatru.

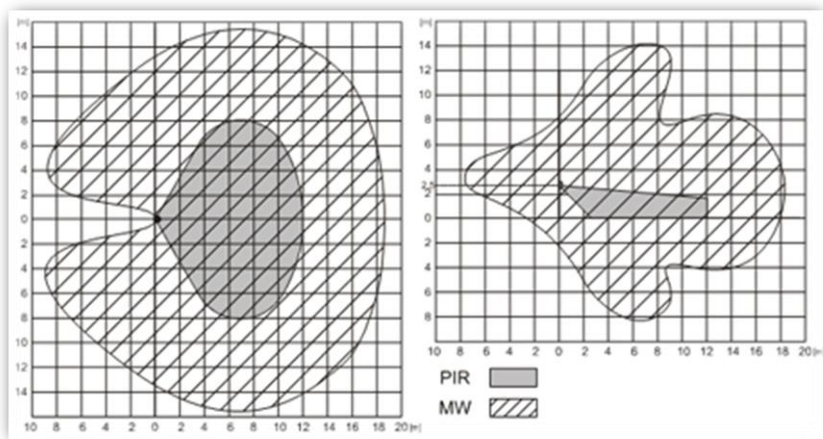
Z kolei analiza obrazu skupia się na śledzeniu konkretnych parametrów wyznaczonych wcześniej stref i pozwala na rozpoznanie i zdefiniowanie zmian, które zaszły w obrazie. Analizowanie obrazu stosuje się między innymi do rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów, czy na lotniskach celem monitorowania niepożądanych lub podejrzanych zachowań, na przykład w postaci bagażu pozostawionego bez opieki.

NOWOCZESNE UKŁADY DETEKCJI ZAGROŻEŃ

Obecnie, poza samą obecnością systemów zabezpieczeń skupia się uwagę na czułości poszczególnych sensorów. Jest również widoczny trend dążący do uzyskania multifunkcyjności pojedynczego urządzenia detekcyjnego, co ma pozwolić ograniczyć ilość elementów w instalacji. Jednocześnie wiele czujników staje się nie tylko punktem przekazującym informacje o stanie w formie binarnej, ale również przyrządem pomiarowym.

Urządzenia wielofunkcyjne przeznaczone są przede wszystkim dla użytkowników indywidualnych. Na rynku obecne są urządzenia skupiające w sobie funkcjonalność czujnika ruchu, temperatury, natężenia oświetlenia, a także zawierające akcelerometr. Tego typu elementy stosowane są przede wszystkim jako fragment instalacji budynku inteligentnego. Pozwalając monitorować szereg czynników z jednego miejsca mogą z wysoką efektywnością sterować elementami automatyki budynkowej.

W przypadku czujek ruchu najistotniejszym zagadnieniem jest ich czułość. Wbrew pozorom najlepsze urządzenia nie są najbardziej czułe. Istota problemu polega na znalezieniu kompromisu pomiędzy skutecznym wykrywaniem obecności intruza, a brakiem fałszywych alarmów spowodowanych, na przykład obecnością zwierząt domowych w budynku. Producenci urządzeń wychodząc naprzeciw potrzebom i oczekiwaniom użytkownika końcowego coraz częściej implementują układy ręcznej regulacji czułości za pomocą potencjometrów, lub nawet automatyczną regulację czułości w zależności od warunków.



Rys. 6. Różnica w obszarze „widzianym” przez sensory w czujce dualnej (źródło: [12])

Nieco inaczej wyglądają kierunki rozwoju rozwiązań przemysłowych. Tutaj najważniejszą właściwością jest niezawodność pozwalająca na ciągłą pracę złożonych systemów, których awaria może generować ogromne straty dla zakładów. Pożądaną cechą jest także, jak w wypadku odbiorców indywidualnych, właściwy poziom czułości urządzeń. Detektory przemysłowe pokazują jednocześnie jak bardzo różnią się oczekiwania użytkowników domowych od potrzeb zakładów produkcyjnych, montażowych, czy nawet elementów infrastruktury drogowej.

Z tego powodu coraz częściej znajdują zastosowanie systemy tworzone pod konkretny obiekt, budowane z użyciem elementów decyzyjnych takich jak sterowniki PLC, które poza funkcjami sterowania mogą z powodzeniem zastępować niektóre układy zabezpieczeń, lub wchodzić w ich skład [10]. Takie rozwiązania poza szeregiem zalet wynikających z wysokiej funkcjonalności spowodowanej dowolnością programowania i łatwością integrowania pracy wielu instalacji mają także istotne wady.

Przede wszystkim, obowiązujące dla systemów zabezpieczeń normy wykluczają lub poważnie ograniczają możliwość skupiania lub współpracy kilku instalacji alarmowych. Wynika to z wymagań dotyczących ograniczania negatywnego wpływu na pracę układów decyzyjnych.

PODSUMOWANIE

Kamery monitoringu wsparte właściwym oprogramowaniem mogą poza funkcją rejestrowania pełnić również funkcje alarmowe, na przykład detekcję obecności. Jednak warto pamiętać o jasnym rozgraniczeniu funkcji detekcji ruchu i analizy obrazu.

Standardowe czujki reagują po osiągnięciu ustalonej wartości progowej, w przypadku nowoczesnych detektorów, poza binarnym sygnałem możemy otrzymywać konkretną informację o wartości wielkości mierzonej.

Nowoczesne, zintegrowane systemy bezpieczeństwa pomimo wyższej funkcjonalności mogą nie spełniać norm przewidzianych dla systemów o zamkniętej strukturze. Wynika to z wysokich wymagań względem niezawodności i bezpieczeństwa takich układów.

LITERATURA

- [1] PN-EN 50131-1:2007, *Systemy alarmowe – Systemy sygnalizacji włamania i napadu – Część 1: Wymagania systemowe*
- [2] EN 61131, *Programmable controllers*, Brussels, May 2013
- [3] PN-EN 54-1: 2011, *Systemy sygnalizacji pożarowej. Część 1: Wprowadzenie*
- [4] Szulc W., Rosiński A.: *Systemy sygnalizacji włamania. Zabezpieczenia 2/2009*
- [5] Buczaj M., *Systemy sterowania i nadzoru szyte na miarę. Zabezpieczenia 6/2012*
- [6] Buczaj M., *Integracja systemów alarmowych i systemów zarządzających pracą urządzeń w budynku mieszkalnym. Zabezpieczenia 4/2009*
- [7] Budzyński D., *Integracja autonomicznych systemów alarmowych zbudowanych w oparciu o centrale alarmowe typu INTEGRA poprzez zewnętrzny interfejs INT-KNX*, Praca inżynierska, Lublin 2015
- [8] Rosiński A., Magiera J.: *Integracja systemu sygnalizacji włamania i napadu z urządzeniami infrastruktury technicznej budynku. Zabezpieczenia 1/2011*
- [9] Konarski M.: *Prawidłowy dobór i montaż czujek w SSWiN. Zabezpieczenia 5/2012*
- [10] Ruda A., Olesiński R.: *Sterowniki programowalne PLC*, 2008
- [11] Katalog produktów, <http://e-security.com.pl>, zasoby z dnia 31.05.2016
- [12] Charakterystyka czujki JA-80W, <http://jablotron100.pl>

PROJEKT AUTOMATYCZNEJ ZGNIATARKI DO PUSZEK ALUMINIOWYCH

WSTĘP

Konsumpcyjny tryb życia jest przyczyną wytworzenia dużej ilości odpadów. Duża część z nich stanowią opakowania, które mogą podlegać ponownemu przetworzeniu, spośród których znaczną część stanowią puszki po napojach. Mogą one być prawie w stu procentach przetworzone, lecz opłacalność tego uzależniona jest od kosztów transportu i magazynowania.

Minimalizacją tych kosztów można uzyskać poprzez zmniejszenie gabarytów tych odpadów (np. poprzez zgniecenie), w miejscu jak najbliższym ich wytworzeniu. Opracowanie takiego urządzenia podjął się autor i proces ten został przedstawiony w niniejszym referacie.

PROJEKT URZĄDZENIA

Głównym założeniem projektu prasy puszek aluminiowych była pełna automatyzacja cyklu pracy urządzenia tak, by nie była wymagana stała ingerencja operatora. Realizacja tego urządzenia wymagała opracowania konstrukcji, która składającego się z następujących podzespołów:

- podajnika taśmowego doprowadzającego puszkę,
- napędu podajnika wyposażonego w silnik indukcyjny zasilanego z przetwornicy częstotliwości,
- zgniatarki zapewniającej siłę wystarczającą do sprasowania puszkę,
- układu elektropneumatycznego zgniatarki.

Automatyczna praca zgniatarki puszek wymagała zastosowania układu nadzorującego pracę maszyny do czego wybrano sterownik PLC typu FX3GE-24MT/Dss firmy Mitsubishi Electric [1].

Wybór programów i ustawień parametrów związanych z eksploatacją urządzenia w trakcie jego eksploatacji zrealizowany został za pomocą podłączonego panelu operatorskiego GOT 1040 firmy Mitsubishi Electric i autorskiego programu napisanego dla tego panelu [2].

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki

TAŚMA DOPROWADZAJĄCA

Taśma transportująca puszkę wykonana została na bazie dwóch równoległych łańcuchów połączonych poprzecznymi belkami, które stanowią czerpaki pobierające materiał obrabiany (rys. 1).



Rys. 1. Taśma transportująca materiał wsadowego

Napęd tej tego ciągu transportowego zrealizowany jest przy pomocy indukcyjnego silnika elektrycznego, który powinien dostarczyć wystarczający moment napędowy do zrównoważenia oporów własnych podajnika, oraz związanych z przenoszonymi elementami. Ze względu na niewielką masę puszek można przyjąć, że dobór parametrów silnika będzie zdeterminowany przez opory własne podajnika.

Dobór optymalnego napędu do maszyny wiąże się z wyznaczeniem i zsumowaniem wszystkich momentów oporowych statycznych, ale również dynamicznych. Zastępczy moment bezwładności jest sumą składowych momentów bezwładności.

$$J = \Sigma J_i \quad (1)$$

W wyniku tego powstający moment bezwładności wyznaczyć można z następującej zależności:

$$M_d = J * \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2)$$

Powstający w stanach dynamicznych moment oporowy jest dominujący i wielokrotnie większy od momentów statycznych. W uproszczeniu moc silnika potrzebną do pracy można wyliczyć ze wzoru (3)

$$P = M_d * \omega \quad (3)$$

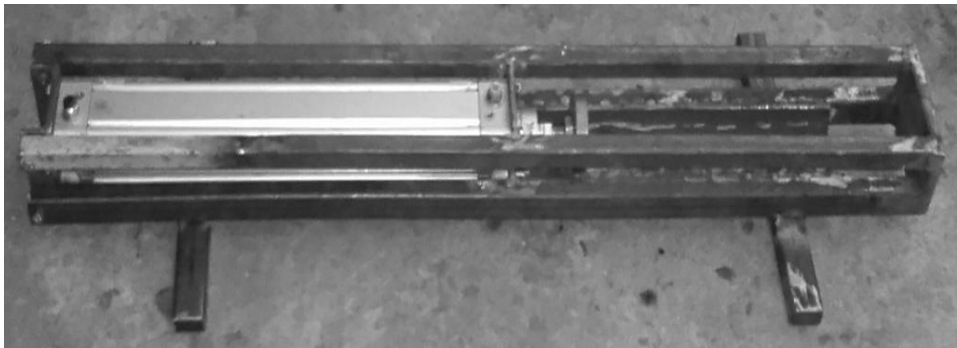
Po dokonaniu powyższych obliczeń zdecydowano się zastosować silnik indukcyjny o następujących parametrach:

- moc czynna $P = 90\text{W}$,
- częstotliwość znamionowa $f = 50\text{ Hz}$,
- prędkość obrotowa znamionowa $n = 1300\text{ obr/min}$,
- natężenie prądu znamionowego $I = 0,29\text{ A}$,
- dostosowanie prędkości obrotowej silnika do prędkości posuwu taśmy uzyskano stosując przekładnię ślimakową o przełożeniu $I = 33$.

Płynną regulację podajnika łańcuchowego uzyskano poprzez zastosowanie przetwornicy częstotliwości Fr-E720 firmy Mitsubishi Electric [3]. Układ ten zapewni również płynny rozruch maszyny.

UKŁAD ZGNIATAJĄCY

Prasowanie puszek wiąże się z koniecznością wygenerowania znacznych sił poprzez zgniatarkę. Do realizacji tego zadania rozważano zastosowanie napędu hydraulicznego, pneumatycznego i elektrycznego. Biorąc pod uwagę zakres sił oraz prostotę ruchu zdecydowano się na zastosowanie siłownika pneumatycznego.

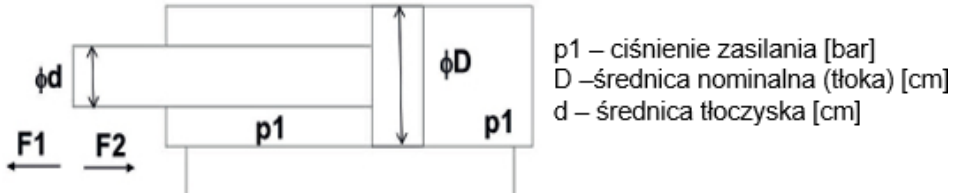


Rys. 2. Skonstruowany układ zgniatający

Określenie technicznych parametrów siłownika w ogólnym przypadku sprowadza się do wyznaczenia niezbędnej siły i skoku tłoczyska.

Niezbędną do wykonania zadania siłę oszacowano na $F = 500\text{ N}$. Siła pchająca wygenerowana przez tłoczyskowy napęd pneumatyczny wyraża się zależnością:

$$F = \pi * \frac{D^2}{4} * p \quad (4)$$



Rys. 3. Rysunek poglądowy do obliczenie siły siłownika [4]

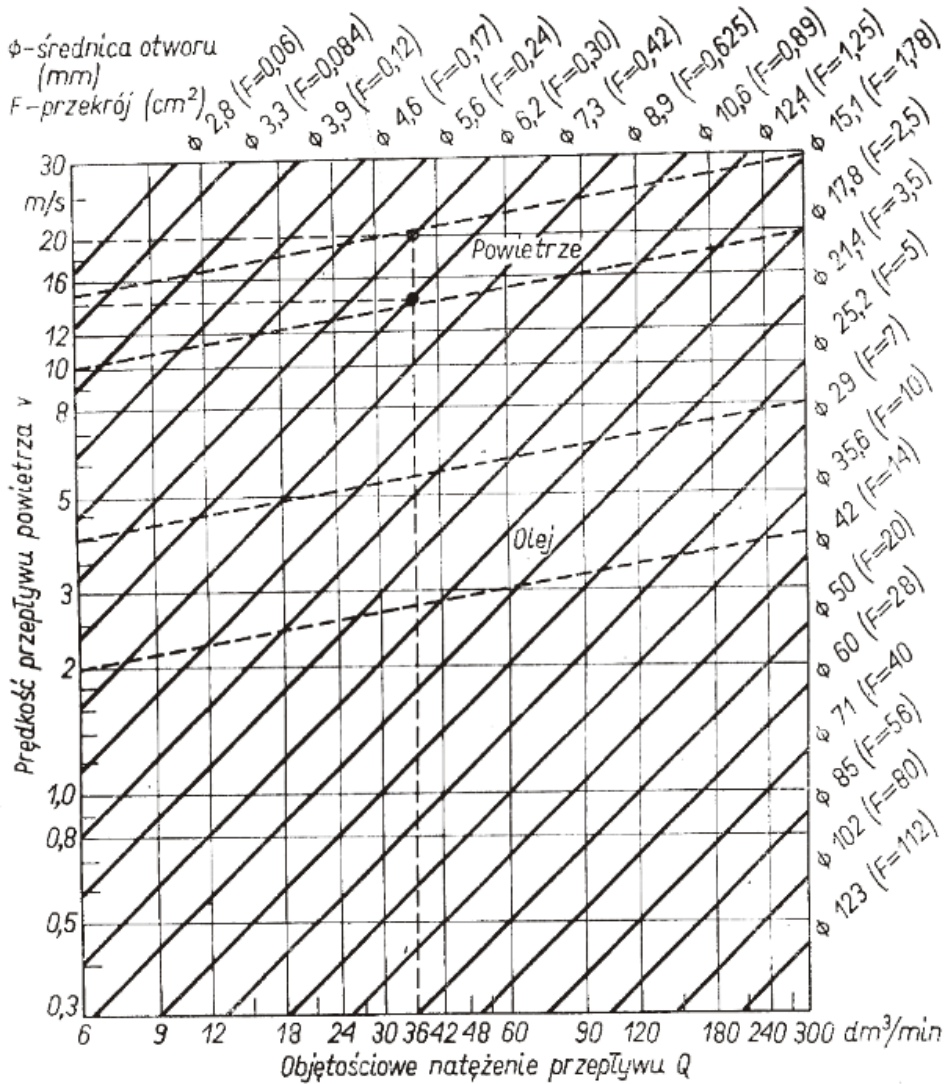
Kolejną elementem doboru napędu pneumatycznego jest dobranie odpowiednio długiego tłoczyska, umożliwiającego wykonanie zadanej czynności.

W wypadku tego projektu zastosowano siłownik o następujących parametrach znamionowych:

- średnica tłoka $D = 50$ mm,
- ciśnienie robocze $p = 5\text{--}8$ bar,
- długość tłoczyska $l = 32$ cm.

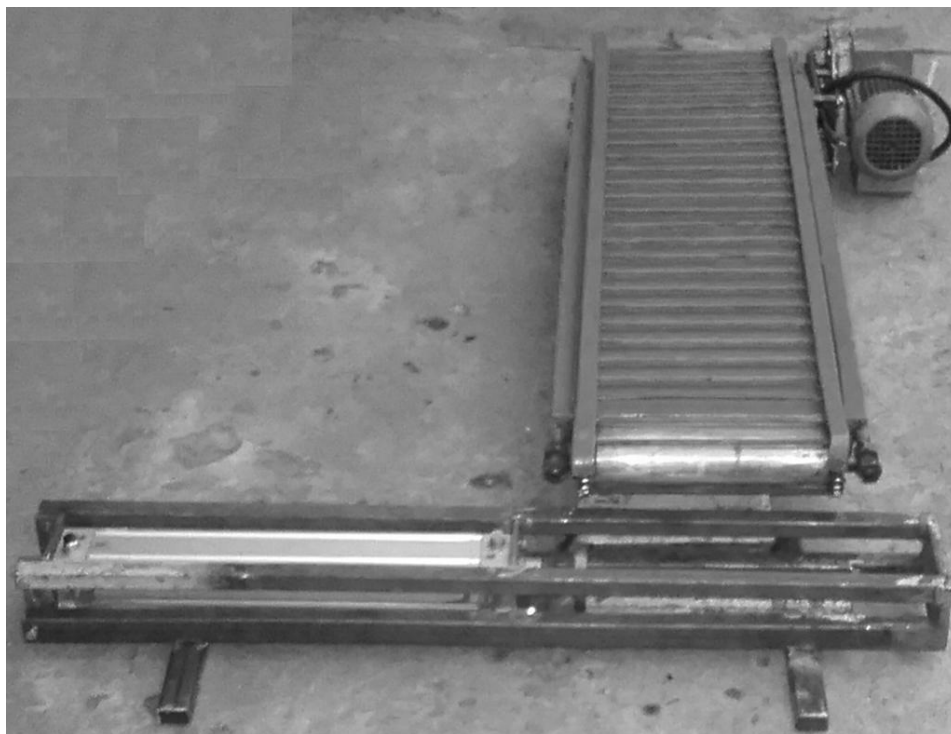
Następnym krokiem jest dobór odpowiedniego elektrozaworu umożliwiający sterowanie nawrotną pracą i sterowanie napędem. Zastosowano elektrozawór dwódrogowy typu 5/2 o ciśnieniu roboczym $p = 5\text{--}8$ bar.

Zapewnienie odpowiedniej wydajności napędu pneumatycznego wymagało zastosowanie przewodów o średnicy roboczej 6 mm, którego dobór dokonano korzystając z wykresu (rys. 4).



Rys. 4. Zależność prędkości przepływu powietrza od objętościowego natężenia przepływu dla różnych przekrojów przewodów [4]

Widok kompletnej zgniatarki widać na poniższym rysunku 5.



Rys. 5. Wykonany model prasy puszek aluminiowych

STEROWANIE

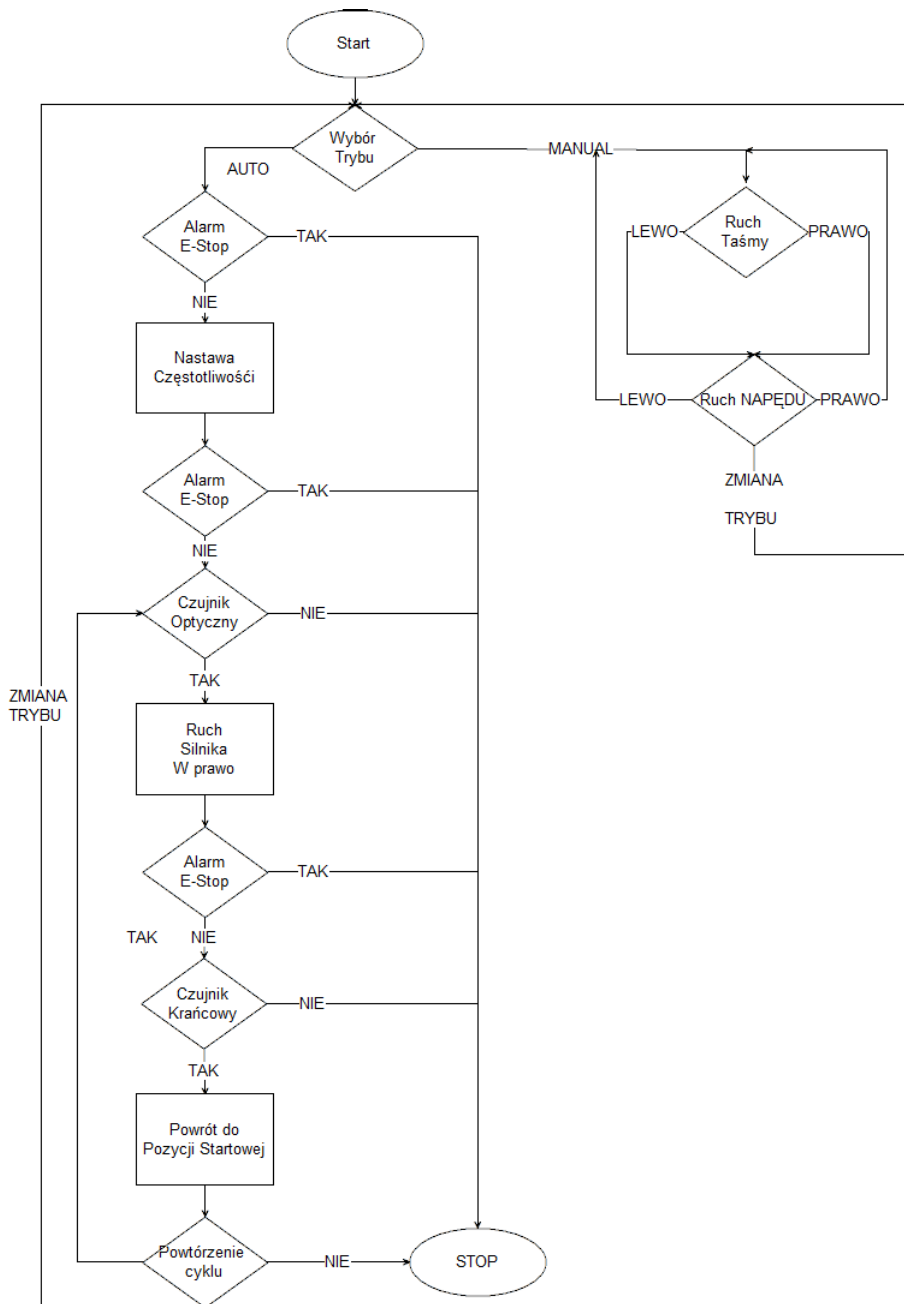
Zgodnie z założeniami projektu urządzenie musi pracować samodzielnie bez ingerencji operatora. Do realizacji tego zadania opracowano algorytm przedstawiony na rysunku nr 6.

Pierwszą czynnością wybieraną przez operatora jest wybór trybu pracy: automatyczna lub manualna.

W trybie pracy manualnym każda czynność tj. ruchy taśmy i napędu pneumatycznego, są wykonywane po zadzianiu operatora na panel HMI.

Operator wybierając tryb automatyczny musi jedynie wybrać prędkość posuwu przenośnika łańcuchowego, oraz uruchomić pracę maszyny. Wszystkie pozostałe elementy wykonują się automatycznie.

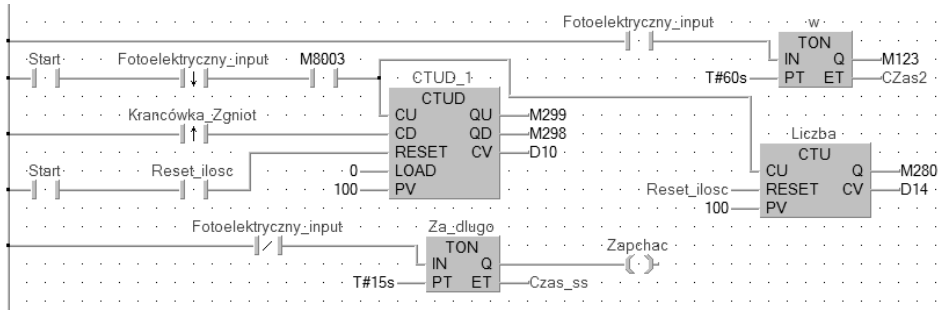
Po każdej czynności program napisany na podstawie tego algorytmu sprawdza wystąpienie błędów, w wypadku wystąpienia jakiegokolwiek błędu praca maszyny zostaje zatrzymana.



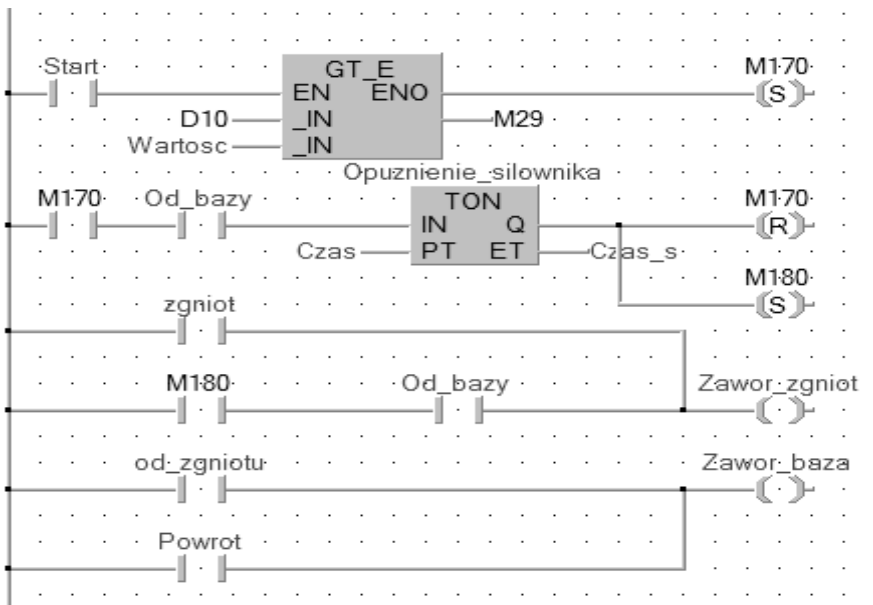
Rys. 6. Algorytm pracy zespołu maszynowego

Opracowany algorytm zrealizowano poprzez oprogramowanie sterownika PLC FX3GE-24MT/Dss w języku LAD.

Wybrane fragmenty programu przedstawiono poniżej

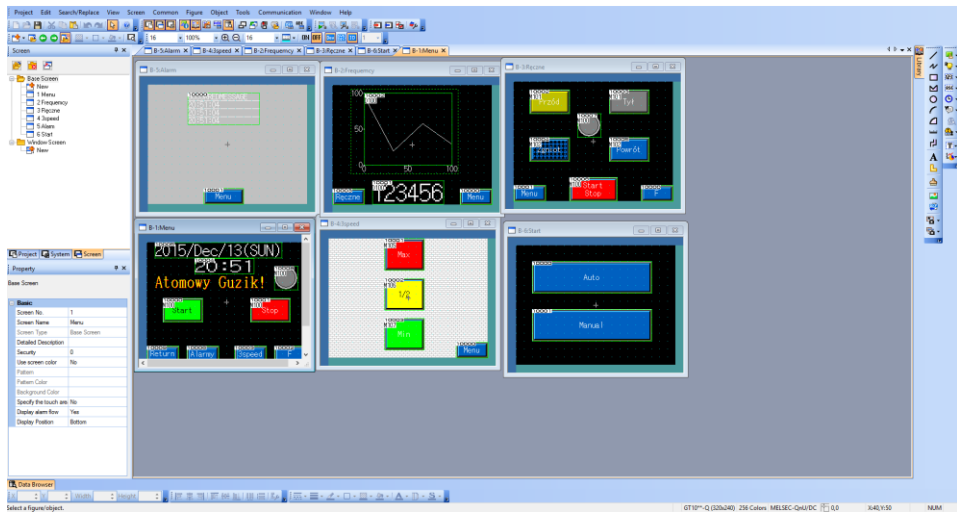


Rys. 7. Kod programu zliczający zgniecione puszki



Rys. 8. Kod programu umożliwiający działanie siłownikowi

By zrealizować drugi element wymagany od sterowania – zmianę parametrów pracy sterownika przez operatora, zastosowano panel HIM GOT 1040 i autorski program napisany przy pomocy oprogramowania GT-Works3 (rys. 9).



Rys. 9. Program napisany na potrzeby panelu HIM

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono proces projektowania i wykonanie automatycznej zgniatarki puszek. Opracowana maszyna zapewnia samoczynne podawanie materiału wsadowego i jego zgniot.

Ze względu na łatwość realizacji oraz oczekiwaną funkcjonalność podajnik napędzany jest przez silnik indukcyjny zasilany z przetwornicy częstotliwości, a rolę wykonawczego napędu zgniatarki pełni siłownik pneumatyczny.

Kontrolę nad pracą układu sprawuje sterownik PLC, a komunikację i zadawanie trybów i parametrów pracy umożliwia panel HIM

LITERATURA

- [1] MITSUBISHI: *MELSEC FX series Programmable Controllers User's Manual*
- [2] MITSUBISHI: *GOT 1000 Graphic Operation Terminal User's Manual*
- [3] MITSUBISHI: *INVERTER FR-E700 INSTRUCTION MANUAL*
- [4] SMC: *Katalog szkoleniowy 2014*
- [5] <http://www.kmrnis.p.lodz.pl/files/Sterowniki-PLC.pdf>
- [6] Kostro J.: *Elementy, urządzenia i układy automatyki*, Wydawnictwa Szkolne i pedagogiczne

MODERNIZACJA PRASY WYKRAWAJĄCEJ GĄBKĘ Z UWZGLĘDNIENIEM AKTUALNIE OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW BEZPIECZEŃSTWA

WSTĘP

Od lat na rynku automatyki przemysłowej można zaobserwować dynamiczny rozwój rozwiązań zwiększający bezpieczeństwo użytkowników maszyn i urządzeń elektrycznych. Związane jest to z coraz większym zaostrzeniem przepisów dotyczących maszyn eksploatowanych na terenie Unii Europejskiej, więc i w tym Polski.

Każda maszyna, która jest wprowadzana i eksploatowana na terenie Wspólnoty Europejskiej nie może zagrażać życiu i zdrowiu personelu jej obsługującego. Z tego też powodu maszyny muszą spełniać wymagania narzucone przez dyrektywę maszynową i normy zharmonizowane. Producent musi więc złożyć deklarację zgodności WE i umieścić oznaczenie CE na swoim produkcie. Jest to deklaracja producenta, który informuje o tym, że maszyna spełnia odpowiednie przepisy bezpieczeństwa.

Ze względu na modernizację jednej z pras hydraulicznych znajdujących się w zakładzie produkcyjnym na terenie Lubelszczyzny wynikła konieczność również modernizacji układów bezpieczeństwa, tak aby dostosować maszynę do aktualnie obowiązujących przepisów. Niniejszy artykuł przedstawia pokrótce cały proces projektowania bezpiecznej w użytkowaniu maszyny na przykładzie ww. prasy.

UWARUNKOWANIA PRAWNE

Najistotniejszym dokumentem prawnym, który reguluje kwestię poziomu bezpieczeństwa użytkowania maszyn jest Dyrektywa Maszynowa 2006/42/WE [1], której postanowienia zostały wdrożone do polskiego prawa za pomocą Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228) [2].

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektryków „NAPĘD i AUTOMATYKA”

W dokumencie tym określone są wymagania stawiane maszynom w zakresie ochrony zdrowia i życia.

Oprócz powyższych dokumentów, projektant może posilkować się w swojej pracy normami zharmonizowanymi. Nie są one wprawdzie aktami prawnymi, jednak ich zastosowanie powoduje „domniemanie zgodności” – jeżeli maszyna spełnia wymagania odpowiednich norm to spełnia również wymagania narzucone przez Dyrektywę Maszynową.

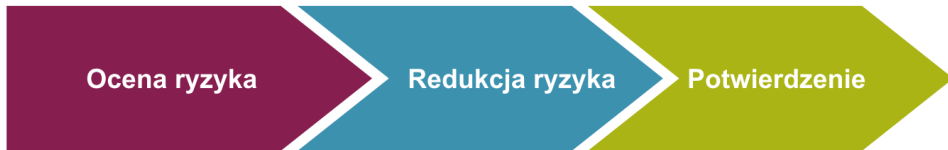
Każdą z norm można przypisać do jednego z trzech rodzajów: A, B lub C. Normy typu A nazywamy normami zasadniczymi albo też normami podstawowymi. Omawiają one jednak tylko podstawowe terminy i zasady projektowania, które możemy zastosować przy projektowaniu każdego typu maszyny. Normy typu B są bardziej szczegółowe, nazywamy je normami tematycznymi bądź też grupowymi. Odnoszą się one do jednego aspektu bezpieczeństwa czy też do jednego rodzaju urządzeń ochronnych. Ostatnią grupą norm stanowią normy typu C nazywane normami szczegółowymi. W normach tych ujęte są szczegółowe wymagania dotyczące konkretnej maszyny lub typu maszyn. Istotną kwestią przy stosowaniu norm jest zrozumienie kiedy należy stosować jaką normę. Jeżeli jakieś pewne zagadnienie jest omówione w normach dwóch albo trzech typów to należy stosować wymagania przedstawione w normie bardziej szczegółowej. Na przykład, gdy mamy jedno i to samo zagadnienie przedstawione w normie typu B i w normie typu C to należy stosować wymagania i zalecenia z normy typu C.

Istotne ze względu na tematykę naszego problemu są dwie normy, które omawiają ogólne aspekty bezpieczeństwa maszyn oraz sposobu oceniania ryzyka. Pierwszą z tych norm jest norma PN-EN ISO 13849-1 [3], jest to norma typu B, która do oceny niezawodności funkcji bezpieczeństwa stosuje poziom wydajności PL (en. Performance Level). Drugą normą (również typu B) jest norma PN-EN 62061 [4], które wykorzystuje poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (en. Safety Integrity Level). To z jakiej normy możemy skorzystać definiuje nam technologia wdrażająca funkcje sterowania związane z bezpieczeństwem.

SCHEMAT PROCESU PROJEKTOWANIA BEZPIECZNEJ MASZYNY

Omówione wcześniej normy zharmonizowane omawiają pewną procedurę, która można przedstawić za pomocą łańcucha procesowego (rys. 1). Ułatwia to zaprojektowanie bezpiecznej w użytkowaniu maszyny, gdyż projektant krok po

kroku jest prowadzony przez wszystkie etapy projektu. Cały łańcuch można przedstawić w pewnych trzech krokach, przy czym z kroku redukcji ryzyka możemy wyodrębnić dodatkowe trzy etapy mające na celu jego zmniejszenie (bezpieczny projekt, techniczne środki ochronny, informacje dotyczące ryzyka szczątkowego).



Rys. 1. Trzy kroki do bezpiecznej maszyny [5]



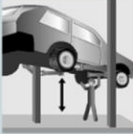


OCENA RYZYKA

Pierwszym etapem z naszego łańcucha procesowego jest etap oceny ryzyka. To na tym etapie projektant powinien zidentyfikować zagrożenia, oszacować i ocenić ryzyko. Cały ten proces powinien być wykonany już w momencie planowania całej maszyny i być wykonany przez wykwalifikowany personel.

Osoba odpowiedzialna za projekt maszyny powinna zebrać informacje niezbędne do oceny ryzyka (lub powinna przyjąć pewne założenia) w zakresie opisu maszyny, zasad ergonomii, doświadczeń wynikających z użytkowania podobnych maszyn czy też zastosowanych przepisów lub norm.

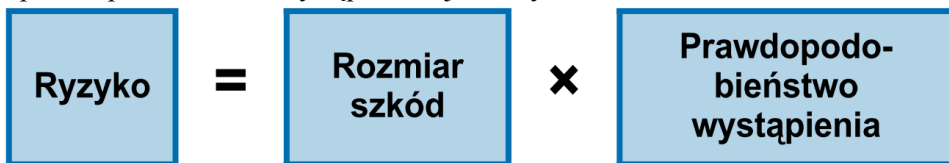
Zebrany opis maszyny powinny polegać na sprecyzowaniu: przeznaczenia maszyny, ograniczeniach pracy (np. informacja na temat w jakich temperaturach maszyna będzie pracować, albo w jakim środowisku), grupy użytkowników (praktykanci, stażyści, osoby niepełnosprawne, wykwalifikowany personel), limity przestrzenne czy też limity czasu pracy maszyny.

Uzyskanie wspomnianych informacji ułatwia proces identyfikacji zagrożeń (tych które istnieją cały czas, oraz tych które mogą powstać w sposób nie dający się łatwo przewidzieć). Zagrożenia muszą być zidentyfikowane na każdym etapie życia maszyny, od jej transportu z miejsca produkcji do momentu jej zezłomowania. Każde zagrożenie należy odpowiednio skatalogować ze względu na rodzaj zagrożenia, jego źródło oraz potencjalne następstwa.

Części tnące	Spadające części	Części ruchome	Grawitacja	części ruchomej	Części ruchome
					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ przecięcie ▪ obcięcie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmiżdżenie ▪ uderzenie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmiżdżenie ▪ uderzenie ▪ obcięcie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmiżdżenie ▪ uwięzienie ▪ stabilność 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zmiżdżenie ▪ uderzenie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zasilenie ▪ pobudzenie ▪ uderzenie

Rys. 2. Identyfikacja źródeł zagrożeń i ich następstwa [5]

Po dokonaniu identyfikacji zagrożeń jakie występują w maszynie należy oszacować i ocenić ryzyko rozpatrując każdą niebezpieczną sytuacja z osobna. Ryzyko jest to połączenie dwóch różnych czynników: rozmiaru szkody i prawdopodobieństwa wystąpienia tej szkody.



Rys. 3. Elementy ryzyka [6]

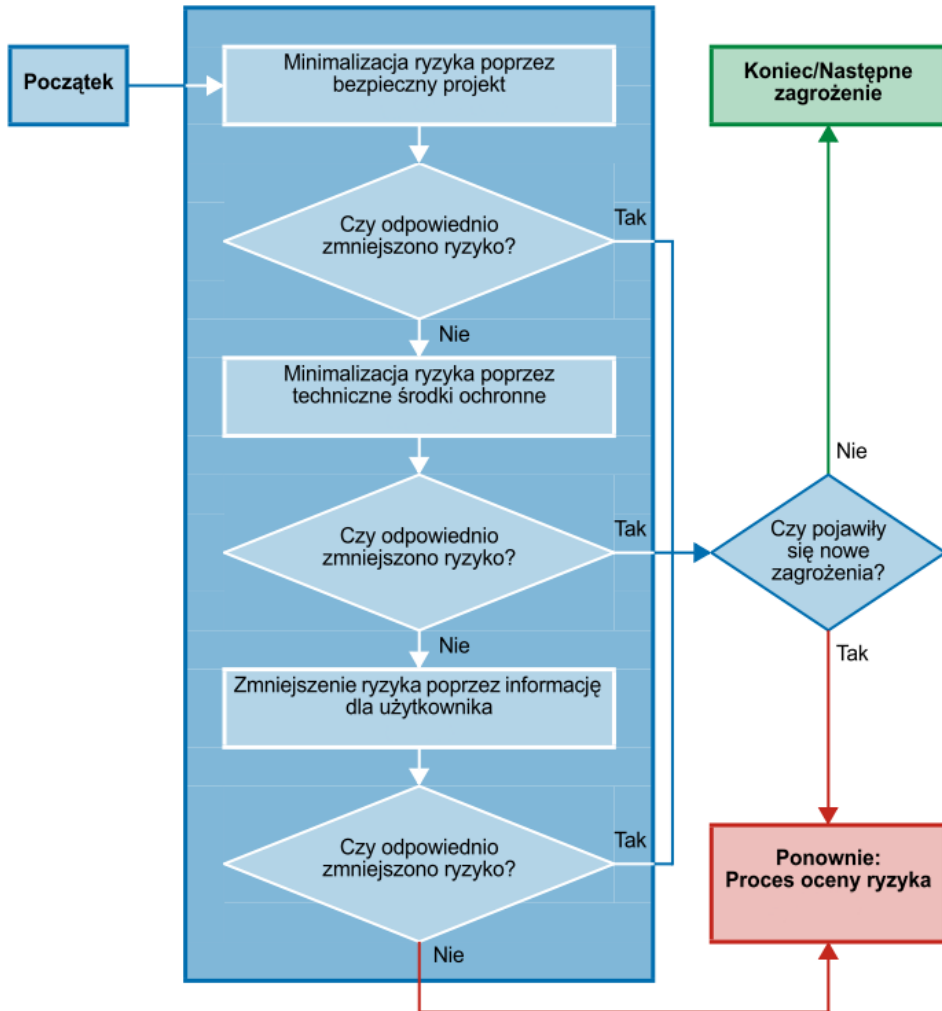
ZMNIEJSZANIE RYZYKA – METODA TRZECH KROKÓW

Jeżeli proces oceny ryzyka wykaże, że dla danego zagrożenia ryzyko jest za dużo, to należy przeprowadzić proces, który ma na celu zmniejszenie ryzyka. Normy zharmonizowane przewidują, że do tego celu można skorzystać z metod tzw. trzech kroków:

- Krok 1: Rozwiązania konstrukcyjne bezpieczne same w sobie,
- Krok 2: Używanie technicznych lub uzupełniających środków ochronnych,
- Krok 3: Informacja dotycząca użytkowania maszyny oraz ryzyka szczątkowego.

Całą sekwencje należy zacząć od kroku pierwszego, po jego wykonany należy ocenić czy osiągnęliśmy zamierzony efekt tzn. czy ryzyko zostało zmniejszone do akceptowalne poziomu, oraz czy nasze działania nie

spowodowały powstania jakiegos innego nowego zagrożenia. Jeżeli ryzyko występujące dla danego zagrożenia dalej jest za wysokie należy przejść do kroku drugiego i jeżeli dalej to będzie konieczne należy wykonać wymagania ujęte w kroku trzecim. Cały proces należy powtarzać dla każdego zagrożenia z osoba.



Rys. 4. Proces zmniejszania ryzyka metodą trzech kroków [6]

Poprzez rozwiązania konstrukcyjne same w sobie należy rozumieć taki dobór cech konstrukcyjnych maszyny jak: unikanie ostrych krawędzi, unikanie punktów gdzie grozi zgniecenie, wciągnięcie bądź otarcie jakiegokolwiek części

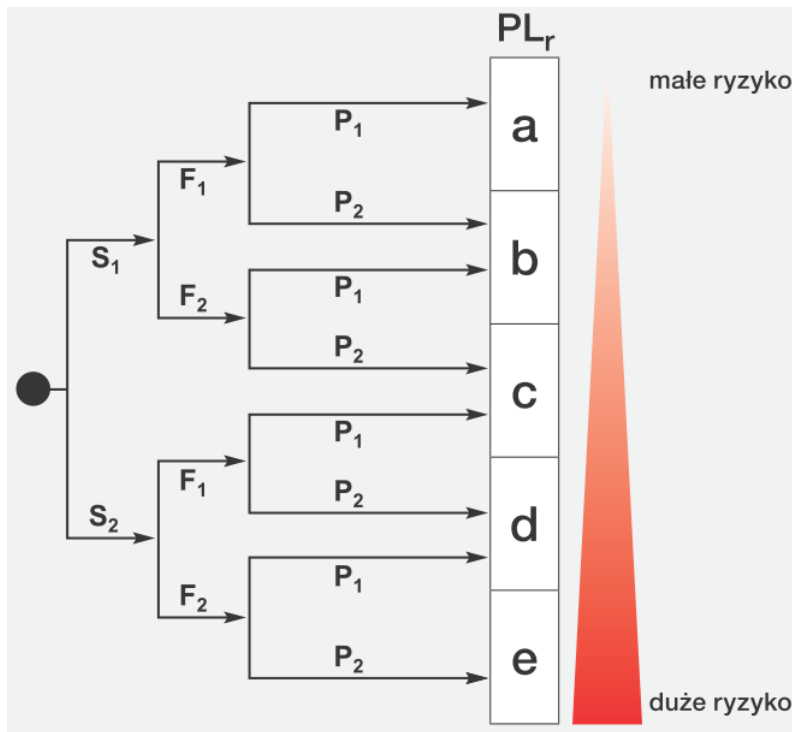
ciała człowieka bądź jego ubioru, ograniczenie ilości energii kinetycznej, przestrzeganie zasad ergonomii. Istotną zaletą takich środków ochronnych jest fakt, że stanowią one integralną i nierozzerwalną część maszyny. Uniemożliwia to personelu obsługującemu maszynę obchodzenie takich środków ochronny, przez co skutecznych rozwiązań konstrukcyjnych jest bardzo duża.

Podczas tego kroku należy też zwrócić szczególną uwagę na kodowanie barwami elementów sterowniczych i wskaźników świetlnych. Wynika to z faktu, że człowiek intuicyjnie powiązuje kolor z jakąś sytuacją czy zdarzeniem. Dla przykładu kolor czerwony w przemyśle informuje o awarii lub sytuacji zagrożenia. Tak więc przycisk sterowniczy służący do zatrzymania awaryjnego powinien być oznaczony czerwonym kolorem, tak samo jak wskaźnik świetlny powinien wyświetlać barwę czerwoną w przypadku wystąpienia awarii.

Ze względu na to że spora część maszyn korzysta obecnie z energii elektrycznej do swojej pracy, należy brać pod uwagę również i ten aspekt przy projektowaniu rozwiązań konstrukcyjnych bezpiecznych samych w sobie. Projektant powinien zniwelować zagrożenia jakie mogą powstać z powodu użytkowania energii elektrycznej (np. zagrożenia wynikające z bezpośredniego czy też pośredniego dotknięcia). Kwestie bezpieczeństwa związane z wyposażeniem elektrycznym maszyny zostały przedstawione w normie PN-EN 60204-1:2010 [7].

Jeżeli rozwiązania wykorzystane w kroku pierwszym nie są wystarczające i nie zminimalizowały dostatecznie ryzyka należy wykorzystać osłony czy urządzenia ochronne, które kwalifikuje się jako techniczne środki ochronny. Dla każdego zagrożenia (którego nie udało się zlikwidować w kroku pierwszym) należy najpierw zdefiniować funkcje bezpieczeństwa, jako funkcje bezpieczeństwa możemy wymienić m.in.: trwałe uniemożliwienie dostępu, czasowe uniemożliwienie dostępu, spowodowanie zatrzymania, zatrzymanie elementu, unikanie niespodziewanego rozruchu, uniemożliwienie rozruchu, odróżnianie człowieka od materiału czy też kontrola parametrów maszyny.

Dla każdej funkcji bezpieczeństwa trzeba określić wymagany poziom bezpieczeństwa jaka ta funkcja musi spełnić. Norma PN-EN ISO 13849-1 do określenia tego poziomu wykorzystuje współczynnik zwany Performance Level, który jest uzależniony od trzech czynników: stopnia obrażeń (en. severity), częstotliwości narażenia ekspozycji na dane ryzyko (en. frequency), oraz szansy na uniknięcie obrażeń (en. possibility). Określając wartości tych parametrów jesteśmy w stanie określić wymagany poziom PL (rys. 5).



Rys. 5. Wyznaczanie poziomu PL na podstawie parametrów S , F i P [8]

Każdy z tych trzech współczynnik (S , F i P) ma dwie możliwości, które można interpretować następująco:

- S_1 – niewielki stopień obrażeń (odwracalne uszkodzenie ciała),
- S_2 – poważny stopień obrażeń (śmierć lub nieodwracalne uszkodzenie ciała),
- F_1 – krótki czas ekspozycji na ryzyko (rzadka częstotliwość narażenia),
- F_2 – długi czas ekspozycji na ryzyko (częsta częstotliwość narażenia),
- P_1 – w pewnych okolicznościach możliwa szansa na uniknięcie obrażeń,
- P_2 – praktycznie niemożliwe uniknięcie obrażeń.

Znając wymagany poziom Performance Level możemy przejść do wyboru urządzeń ochronnych, a ten jest bardzo szczodry dla projektanta. Wśród urządzeń ochronnych możemy wymienić takie jak: osłony, osłony ruchome, stacjonarne urządzenia ochronne, urządzenia zezwalające, maty i naciskowe listwy bezpieczeństwa, przełączniki nożne czy też elektroczułe wyposażenie ochronne (ESPE).



Rys. 6. Elektrozule wyposażenie ochronne firmy SICK [6]

Wybrane do projektu urządzenia ochronne należy jeszcze zintegrować z całym układem sterowania, gdzie jako układ sterowania traktuje się połączenie elementów wejściowych, modułów logicznych, elementów sterowania mocą czy też elementów napędów (roboczych). Elementy wejściowe to wymienione wcześniej urządzenia ochronne. Wśród modułów logicznych znaczną grupę stanowią sterowniki bezpieczeństwa PLC, w porównaniu do zwykłych sterowników są one bardziej niezawodne ze względu na swoją wewnętrzną dwukanałową strukturę.



Rys. 7. Sterownik bezpieczeństwa PLC Pluto firmy ABB [9]

Odpowiednie zbudowane styczniki mogą służyć jako elementy sterowania mocą. Elementy takie może posłużyć do wyłączania np. napędów roboczych w celu uniknięcia zagrożenia. Każdy z takich styczników musi być dodatkowo zabezpieczony od przepięć przejściowych, które pojawiają się w momencie rozłączania styków.

Żeby ocenić czy nasze rozwiązania są skuteczne należy przeprowadzić walidacje wszystkich funkcji bezpieczeństwa. Polega to na sprawdzeniu czy każda z funkcji bezpieczeństwa spełnia wymagania dyrektywy maszynowej czy też poszczególnych norm zharmonizowanych. Podczas tego etapu jest istotne, aby wyłapać wszelkie możliwe błędy jakie mogły zostać popełnione wcześniej.

W ostatnim kroku, należy poinformować klienta i przyszłych użytkowników o ryzyku szczątkowym (o ile występuje). Może to być wykonane np. poprzez informacje tekstowe. Dodatkowo może być potrzeba zainstalowania na maszynie odpowiednich piktogramów (rys. 8), albo sygnalizatorów świetlnych bądź dźwiękowych.



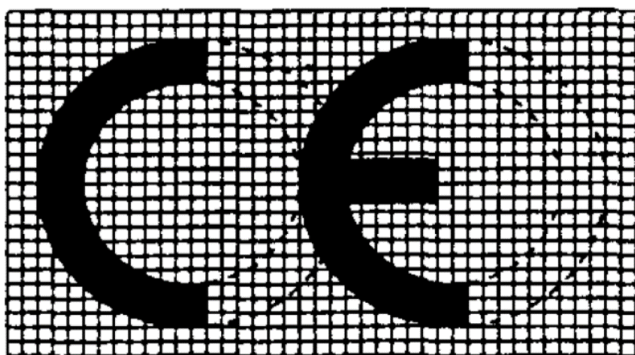
Rys. 8. Przykładowe piktogramy informacyjne [6]

WALIDACJA CAŁOŚCIOWA I WPROWADZENIE DO OBROTU

Po wykonaniu całości wcześniejszych etapów, należy przeprowadzić walidację całościową, różni się ona od walidacji funkcji bezpieczeństwa tym, że wcześniej poddawaliśmy sprawdzeniu tylko poszczególne funkcje bezpieczeństwa. Podczas gdy walidacja całościowa ma na celu sprawdzenie poprawności całości projektu, od początku do końca. Najważniejszym pytaniem

na które projektant musi sobie odpowiedzieć podczas walidacji całościowej jest to czy maszyna jest bezpieczna w użytkowaniu, oraz czy ryzyko zostało odpowiednio zmniejszone.

W momencie gdy walidacja całościowa będzie pozytywna (tzn. maszyn spełnia wymogi dyrektywy maszynowej) to producent może przygotować maszynę do wprowadzenia do obrotu. W tym celu musi on przygotować instrukcje obsługi w języku urzędowym kraju gdzie będzie pracować. Dodatkowo maszyna musi być oznaczona znakiem CE (rys. 9) i musi być wystawiona deklaracja zgodności. Jest to prawne potwierdzenie zachowania przez producenta wymogów narzuconych przez dyrektywę maszynową i norm zharmonizowanych.



Rys. 9. Oznakowanie CE [2]

MODERNIZACJA PRASY WYKRAWAJĄCEJ GĄBKİ

Cały proces zaczął się od zebrania podstawowych informacji na temat maszyny podlegającej modernizacji: jej podstawowych danych (tabela 1), warunkach użytkowania, ograniczeniach w użytkowaniu, warunkach eksploatacji, dostępnych trybach pracy, obszarach maszyny, strefach zagrożenia.

Tabela 1. Podstawowe dane modernizowanej prasy hydraulicznej (źródło: opracowanie własne)

Produkt	„Maszyna” zgodnie z dyrektywą maszynową 2006/42/WE, Artykuł 2 pkt A
Oznaczenie maszyny:	SUTEAU Modele 125 12x12 250T Seria 2787/04/03
Rodzaj maszyny:	Prasa hydrauliczna do obróbki tworzyw sztucznych (tworzywa od użytkownika)
Rok uruchomienia	2009

Jako prawidłowe użytkowanie maszyny określono wycinanie prefabrykatu na gąbki kąpielowe lub zmywaki o określonych wymiarach tj. 1200x900 mm. Nieprawidłowe użytkowanie maszyny to użycie materiału wsadowego innego niż określony przez producenta maszyny, albo o innych wymiarach.

Ograniczenia pracy zostały określone następująco: trójfazowe napięcie zasilające 400 V 50 Hz, do użytku wyłączanie w pomieszczeniach, zakres temperatur od -15°C do 50°C, 150000 h godzin pracy, pusta przestrzeń do 2 m wokół maszyny.

Warunki pracy obejmują pracę w środowisku komercyjnym, obsługę przez wykwalifikowany personel, bez użycia materiałów niebezpiecznych, a jedynie przy substancjach niebezpiecznych (olej pod ciśnieniem). Tryby pracy zostały określone następująco: automatyczny, ręczny, ustawień i serwisowy.

Maszyna została podzielona na trzy główne obszary pracy: wejście, prasa i wyjście. Wejście jest to obszar w którym przenośnik podający wsuwa materiał prefabrykowany do prasy, prasa to obszar prasowania prefabrykatu. Natomiast obszar ostatni to obszar gdzie przenośnik odbiera materiał z prasy.

Na podstawie tych obszarów zostały określone cztery strefy zagrożenia: taśmociąg wejściowy i wyjściowy oraz lewa i prawa strona prasy. Dla każdej z tych stref zostały określone występujące zagrożenia dla każdego trybu pracy i cyklu życia. W przypadku tej prasy są to głównie zagrożenia mechaniczne (zmiążdzenie), elektryczne (porażenie prądem elektrycznym), od substancji (poparzenie olejem z układu hydraulicznego) i środowiskowego (nadmierny hałas czy wibracje). Dodatkowo dla każdego zagrożenia zostało określone prawdopodobieństwo jego wystąpienia.

Znając powyższe dane, zostały określone funkcje bezpieczeństwa niezbędne do zmniejszenia ryzyka. Wśród tych funkcji możemy wymienić przycisk awaryjnego zatrzymania, drzwiczki bezpieczeństwa i kurtyny świetlne. Dobór stosowanych urządzeń został dokonany przy pomocy katalogów, obliczeń ręcznych i oprogramowania SISTEMA.

Dla funkcji bezpieczeństwa „Przycisk awaryjny” przyjęto wymagany poziom PLb, jako podsystem wejściowy zostały użyte przyciski bezpieczeństwa (rys. 10), jako element reakcyjny został wykorzystany przekaźnik bezpieczeństwa RT7, natomiast podsystemem wyjściowym był sterownik PLC Siemens S7-300. Używając takich elementów uzyskaliśmy PLe, czyli większy poziom niż wymagany. Co oznacza że nasza funkcja spełnia swoje zadanie.



Rys. 10. Przycisk awaryjnego zatrzymania [10]

Podobnie zostały dobrane elementy do pozostałych funkcji bezpieczeństwa. Dla funkcji „drzwiczki bezpieczeństwa” wykorzystaliśmy magnetyczne czujniki bezpieczeństwa EDEN, specjalnie zaprojektowane drzwiczki, oraz wspomniany wcześniej przekaźnik bezpieczeństwa oraz sterownik PLC. Nasza funkcja uzyskała poziom PLe przy wymaganym poziomie PLd. Dla funkcji „kurtyna świetlna” oprócz sterownika PLC wykorzystaliśmy adapter bezpieczeństwa do kurtyn TINA 10A, oraz kurtynę świetlną Focus II FII-4-14-1350. Uzyskaliśmy dzięki temu poziom PLe przy wymaganym PLd.

Ze względu na występujące ryzyko szczątkowego na maszynie zostały zainstalowane następujące piktogramy: „zagrożenie obciążeniem” (umieszczony na wejściu i wyjściu prasy), „Nie dotykać! Urządzenie elektryczne” (umieszczony obok każdego elementu elektrycznego) oraz „Uwaga! Niebezpieczeństwo. Zachowaj Ostrożność” (umieszczony przy podajniku wejściowym i wyjściowym).

Finalnym krokiem była walidacja i ponowna analiza ryzyka, jako że zastosowane w maszynie rozwiązania okazały się skuteczne została wystawiona deklaracja zgodności, a na maszynę został naniesiony znak CE.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie norm bezpieczeństwa ma miejsce w każdej działającej i wprowadzonej do obrotu maszynie. Ważnym aspektem jest położenie nacisku na odpowiednie przygotowanie dokumentacji projektu, ze względu na późniejsze konsekwencje prawne. Producenci linii technologicznych już na etapie konstrukcji dbają o bezpieczeństwo użytkownika.

Pierwszym krokiem ku bezpiecznej maszynie jest ocena ryzyka. Dzięki odpowiednim opracowaniu stref zagrożenia i zweryfikowaniu poziomu bezpieczeństwa można dobrać odpowiednie środki zaradcze.

Kolejnym etapem jest zaprojektowanie układu bezpieczeństwa zgodnego z krokiem pierwszym. Ważne jest również nie dobieranie środków na wyrost, ponieważ znacznie podniesie koszty produkcji maszyny.

Ostatnim etapem jest walidacja całościowa projektu. Po uruchomieniu sprawdzana jest poprawność zadziałania zabezpieczeń. Następnie wykonuje się ponowną analizę ryzyka, z uwzględnieniem zaprojektowanego obwodu bezpieczeństwa.

Po przejściu przez wszystkie etapy można wystawić deklarację zgodności, przygotować instrukcje obsługi oraz nanieść oznaczenie CE na maszynę.

Wszystkie te kroki musiały zostać przeprowadzone w przypadku modernizowanej przez nas prasy do wykrawania gąbek, potrzeba modernizacji wyniknęła z konieczności dostosowania maszyny do obecnie obowiązujących przepisów. Po modernizacji maszyna została ponownie uruchomiona na terenie zakładu produkcyjnego.

LITERATURA

- [1] DYREKTYWA 2006/42/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie)
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1228)
- [3] PN-EN ISO 13849-1:2008 *Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 1: Ogólne zasady*
- [4] PN-EN 62061:2008: *Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem*
- [5] Siemens: *Ryzykować-Czy grać bezpiecznie? Twój wstęp do techniki bezpieczeństwa.*
- [6] SICK: *Przewodnik Bezpieczne maszyny. Bezpieczna maszyna w sześciu krokach*
- [7] PN-EN 60204-1:2010 *Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne*
- [8] ABB: *Bezpieczeństwo w systemach sterowania według normy EN ISO 13849-1*
https://library.e.abb.com/public/0ed584054e79f60d48257ae5003b330c/Bezpieczenstwo_w_systemach_sterowania_wedlug_normy_%20ISO_%20EN-%2013849-1.pdf (dostęp: 14.06.2016)

- [9] Oferta produktowa ABB Jokab Safety
https://library.e.abb.com/public/087b1997baf7d2ff48257ae50039a8cc/Oferta_produkta_ABB_Jokab_Safety.pdf (dostęp: 14.06.2016)
- [10] <http://sklep.indual.pl/pl/produkty/przyciski-i-przelaczniki/przyciski-bezpieczenstwa>
(dostęp: 14.06.2016)

INTELIĞENTNE OŚWIEIŁENIE SAMOCHODU

WSTĘP

W dzisiejszych czasach samochody odgrywają kluczową rolę w sprawnym przemieszczaniu się pomiędzy punktami niezależnie od pogody. Podstawowym warunkiem bezpieczeństwa jest możliwość poprawnej oceny aktualnej sytuacji panującej na drodze oraz wczesne wykrycie przeszkód w celu ich omińnięcia. Tak więc bezpieczeństwo na drogach w większości zależy od stanu oświetlenia na drogach. Szczególnie w krajach takich jak Polska, gdzie porą zimową noc jest bardzo długa. Dlatego projektanci nowych aut starają się otrzymać jak najlepsze parametry świetlne wraz z rozwijaniem osprzętu oświetleniowego. Starają się też tworzyć systemy odpowiedzialne za dostosowywanie się świateł w aucie do warunków panujących na drodze. Niestety podczas udoskonalania występuje mnóstwo problemów, które głównie wynikają ze zróżnicowania wymagań różnych użytkowników ruchu drogowego, a więc różnego rodzaju systemy oświetlenia są mieszanką kryteriów wszystkich użytkowników połączonym wspólnym kompromisem.

Wbrew powszechnej opinii nie tylko nowsze pojazdy samochodowe mogą posiadać różnego rodzaju systemy inteligentnego oświetlenia. Rozwój techniki i obowiązujące prawo pozwala na montaż takich systemów również w starszych autach, gdzie poszerzenie wymagań jakościowych sprzętu oświetleniowego jest istotne z punktu widzenia kierowcy oraz innych użytkowników dróg.

Niniejsza praca demonstruje projekt systemu inteligentnego oświetlenia mający wpływ na poprawę widzialności i bezpieczeństwa użytkowników ruchu drogowego oraz ma za zadanie zwiększać wygodę użytkownika pojazdu nie wyposażonego seryjnie w tego typu rozwiązania.

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe „MICROCHIP”

PROJEKT – CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Celem pracy było zaprojektowanie sterownika na mikrokontrolerze ATmega2560 AVR ATMEL w celu zastosowania systemu inteligentnego oświetlenia samochodu w pojazdach, które nie zostały w niego wyposażone.

Podczas projektowania układu głównym założeniem było stworzyć sterownik inteligentnego oświetlenia w samochodzie, który będzie jak najbardziej uniwersalny. Umożliwiający montaż w starszych modelach aut, w których cała instalacja elektryczna za wyjątkiem sterowania silnika nie została wyposażona w szeregową magistralę komunikacyjną CAN. Ważnym założeniem było użycie jak najmniejszej ilości elementów ruchomych, które są podatne na uszkodzenia. Całość prac montażowych miała mieć znikomą ingerencję w seryjną część instalacji elektrycznej pojazdu. Miała nie naruszać struktury okablowania komputera pokładowego oraz umożliwiać szybki powrót do stanu pierwotnego. Całość miała się opierać na wykorzystaniu oświetlenia fabrycznego jak również dodatkowych świateł zamontowanych w pojeździe. Głównym zadaniem projektowanej jednostki było doświetlanie zakrętów polegające na włączaniu dodatkowych halogenów. Istotne było, aby halogeny płynnie rozjaśniały się i ściemniały. Co miałyby spowodować mniejsze rozproszenie uwagi kierowcy oraz innych użytkowników ruchu, a w dodatku ograniczać dyskomfort w trakcie ich używania. Dodatkowo analizowany jest sygnał pochodzący z tylnego światła przeciwmgielnego. Użycie tego światła przez kierowcę jednoznacznie mówi, że panuje zmniejszona przejrzystość powietrza. Tak więc, przy włączonym świetle przeciwmgielnym halogeny doświetlające nie będą uruchamiane. Ma to na celu poprawię widoczności kierującego pojazdem w czasie mgły; tzn. aby światło z halogenów nie było rozpraszane przez cząsteczki wody zawieszane w powietrzu. Specjalnie nie został tu użyty sygnał z przednich świateł przeciwmgielnych, ponieważ przepisy mówią, że kierowca ma prawo używać przednich świateł przeciwmgielnych na oznaczonej drodze krętej przy normalnej przejrzystości powietrza. Głównym impulsem do włączenia halogenów doświetlających miał być sygnał opisujący położenie kierownicy. Gdy kierownica znajdzie się w odchyleniu powyżej 45 stopni w lewo to załącza się lewe doświetlenie. Jeśli wychylenie się zmniejszy poniżej 45 stopni to doświetlenie zostanie płynnie zgaszone po minięciu jednej sekundy. Analogicznie będzie, gdy kierownica zostanie skręcona w prawo, z tym, że wtedy sterownik załączy prawy halogen doświetlający. W przypadku wrzucenia

biegu wstecznego aktywowane są obie lampy, oświetlając pobocza wokół pojazdu.

Do pomiaru kąta obrotu kierownicy wykorzystano czujnik rezystancyjny, a konkretnie potencjometr wieloobrotowy, liniowy, sprzężony z kolumną kierownicy przekładnią, której zadaniem jest zwiększenie dokładności odczytu.

Przy wykorzystaniu tylko sprzężenia z kierownicy halogeny włączałyby się dopiero podczas wykonywania manewru, dlatego sterownik reaguje także na włączenie kierunkowskazów. Po włączeniu kierunkowskazu automatycznie załącza się doświetlenie. Po wyłączeniu kierunkowskazu oświetlenie wygasza się bez dodatkowej zwłoki. Jedynym warunkiem załączania świateł doświetlających na podstawie kierunkowskazów jest to, aby prędkość pojazdu nie przekraczała 40 km/h. Z tego wynika, że kolejnym zadaniem sterownika jest ciągle monitorowanie prędkości pojazdu. W związku z tym, że głównym założeniem była uniwersalność układu trzeba było wziąć pod uwagę, że w różnych modelach aut sygnały prędkości są wyprowadzone z przeróżnych czujników oraz mogą to być sygnały różnych rodzajów. Między innymi może to być sygnał prędkości własnej pojazdu (VSS), sygnał w elektronicznym module sterującym (ECU) czy też sygnał doprowadzony do prędkościomierza na desce rozdzielczej. Dlatego w projekcie został wykorzystany moduł GPS, z którego dane zostają przeanalizowane i dzięki temu otrzymujemy aktualną prędkość pojazdu. W trakcie używania modułu GPS można napotkać problem z brakiem sygnału z satelitów. Przypadek ten najczęściej będzie miał miejsce w tunelach i parkingach podziemnych (dłuższe tunele jak również parkingi pod budynkami są najczęściej oświetlone). Brak sygnału może także mieć miejsce przy szybszej jeździe autostradą. Dlatego przyjęto, że po utracie sygnału GPS moduł odpowiadający za włączanie halogenów doświetlających na podstawie kierunkowskazów zostanie wyłączony, a sama funkcja doświetlania będzie opierać się na odczycie położenia kierownicy.

Kolejną funkcją realizowaną przez sterownik jest oświetlenie otoczenia wokół pojazdu. Opcja ta wykorzystuje seryjne podświetlenie tylnej rejestracji, podświetlenie zamontowane pod lusterkami oraz światła do jazdy dziennej. Przyjęte zostało, że sygnał wyzwalający tą opcję został wyprowadzony z wewnętrznego podświetlenia kabiny, które współpracuje z zamkiem centralnym. Dzięki temu oświetlenie załącza się wraz ze zdalnym odryglowaniem, zaryglowaniem oraz otwarciem obojętnie, których drzwi w pojeździe. Jednocześnie uniemożliwia, aby sterownik przy zamkniętych

drzwiach włączył oświetlenie, gdy użytkownik zaświeci oświetlenie we wnętrzu kabiny.

Projektowany układ sprawuje także kontrolę nad światłami dziennym. Mają się one włączać przy spełnieniu dwóch założeń. Pierwszym jest ustawienie kluczyka w stacyjce w pozycji ACC. W tym przypadku wystarczy sprawdzić napięcie na stykach ACC w stacyjce. Jeśli będzie ono wynosić co najmniej 11 V to oznacza, że kluczyk został przekreślony. Drugim warunkiem jest uruchomienie silnika w pojeździe. Badanie tylko napięcia bez sprawdzania pozycji kluczyka w stacyjce mogłoby spowodować zainicjowanie światel dziennych przy podłączeniu prostownika (zasilacza prądu stałego) do ładowania akumulatora bez wcześniejszego odłączenia klem łączących akumulator z instalacją pojazdu. Sam fakt uruchomienia silnika można wykryć na kilka sposobów, hipotetycznie przy zgaszonym silniku brak ładowania akumulatora przez alternator sprawia, że powinien mieć on SEM na poziomie około 12 V, natomiast po uruchomieniu silnika, dzięki ładowaniu przez alternator, napięcie na jego zaciskach powinno wynosić około 14,4 V. Jednakże pomiary wykazały, że jest tylko teoria. Samochodowa instalacja posiada stosunkowo niskie napięcie, a niektóre odbiorniki (m.in. nadmuch, świece żarowe, światła mijania i drogowe) ze względu na swoją moc, pobierają duże wartości prądu. W takim przypadku, na wolnych obrotach silnika, napięcie spada nawet do 13 V. Dobrym rozwiązaniem okazało się zaimplementowanie w kodzie histerezy. Jeśli silnik jest wyłączony, program sprawdza czy napięcie wzrosło powyżej 13.5 V, natomiast fakt zgaszenia uruchomionego silnika jest wykrywany poprzez spadek napięcia na instalacji poniżej 12,5 V.

Z przepisów wynika, że światła dzienne można używać od świtu do zmierzchu przy normalnej przejrzystości powietrza. Wykorzystanie modułu GPS, oraz RTC pozwoliło rozwiązać ten problem w dwojaki sposób, po pierwsze mamy dostęp do aktualnej godziny, po drugie do długości i szerokości geograficznej. Ze względu na możliwe problemy związane z utratą zasięgu, czas z modułu GPS służy tylko do aktualizacji zegara RTC. Ma to dodatkową zaletę, moduł GPS potrzebuje kilkudziesięciu sekund po uruchomieniu, aby odczytać i przeanalizować dane z satelitów, dzięki temu po uruchomieniu silnika moduł od razu potrafi przeanalizować czy aktualnie świeci słońce, więc nie ma problemu z ciągle przełączającymi się światłami. Sterownik pamięta też ostatnią znaną pozycję geograficzną, dzięki czemu przy chwilowej utracie sygnału nadal może on realizować swoją funkcję. Sterownik może uruchomić światła dzienne tylko za dnia, aby to było osiągnięte jest wymagane przeprowadzenie analizy

określającej aktualną godzinę i datę. Mając już informację, kiedy pojazd może poruszać się z włączonymi światłami do jazdy dziennej można w łatwy sposób zrealizować kolejną funkcję jaką jest załączenie światel mijania po zmierzchu. Opcja działa analogicznie jak dla światel dziennych, z tą różnicą, że jest ona dostępna tylko w nocy.

Sterownik dodatkowo posiada także opcję przeznaczoną do włączania i wyłączania diod podczerwieni. Diody odpowiadają za oświetlenie w ciemności obrazu, który rejestruje zamontowany w pojeździe wideorejestrator. Przewidzianym najczęstszym wykorzystaniem tej funkcji będzie użycie jej podczas postojów na nieoświetlonych parkingach. Wspomniana funkcja działa automatycznie tylko w nocy. Jest uruchamiana wraz z zapadnięciem zmierzchu oraz wyłączana wraz z nadejściem dnia. Jest niezależna od pracy silnika. Dezaktywuje ją włączenie światel mijania bądź drogowych oraz przypisany do tej funkcji przełącznik, który służy także do włączenia diod w zależności od potrzeby.

Do załączania oświetlenia zostały użyte przekaźniki elektryczne o stykach przełączających. Przełączniki wpięto tuż za fabrycznym włącznikiem światel, ale jeszcze przed bezpiecznikami zabezpieczającymi tak, aby zapewnić ochronę układu przed zwarciami. Poza tym przepisy wymagają, aby w przypadku światel przeciwmgielnych, drogowych, awaryjnych oraz pozycyjnych ich włączenie było sygnalizowane poszczególnymi kontrolkami. W tym przypadku zostało założone, że montaż w wybranym miejscu przekaźników będzie spełniał powyższe wymogi.

W celu osiągnięcia dokładnego sterowania oświetleniem w pojeździe było wymagane dostarczenie do sterownika informacji o poszczególnych stanach oraz sygnałach pochodzących z pojazdu. Dlatego zostały wyprowadzone sygnały ze wszystkich światel w jakie był wyposażony samochód.

PROJEKT – CZĘŚĆ PROGRAMISTYCZNA

Dla pełni zrozumienia złożoność układu pod kątem programowym, należałoby wymienić w skrócie wszystkie realizowane przez niego funkcje, czyli:

- odbieranie danych przez GPS,
- odczyt danych z RTC,
- odczyt danych z portów GPIO,
- odczyt napięcia z przetwornika A/C, oraz obróbka tychże danych,

- informacje pomagające debugować kod,
- usypianie i wybudzanie,
- obsługa PWM,
- obliczanie wschodów i zachodów,
- analiza danych i wykorzystanie ich w celu wysterowania konkretnych linii wyjściowych.

Problematycznym w tym przypadku jest fakt, że niektóre z tych czynności trwają bardzo krótko, powinny być wykonywane często i reagować natychmiast na zmiany w danych. Inne natomiast wymagają większej ilości czasu na wykonanie się, ale nie jest konieczne powtarzanie ich często. W związku z powyższym idealnym wydaje się zastosowanie obsługi wielowątkowości. Wielowątkowość znana z dużo silniejszych komputerów, np. domowych klasy PC. Wydaje się niemalże niemożliwa do zaimplementowania w środowisku 8 bitowym z tak ograniczoną pamięcią. W istocie jednak jest to zadanie dość proste. Wymaga ono jednak pewnych sztywnych reguł postępowania. Po pierwsze więc, zrezygnowano z jakichkolwiek instrukcji „wait”, które powodują, że program zatrzymuje się i kontynuuje swoje działanie dopiero po odmierzeniu pewnej wartości czasu. Po drugie, zrezygnowano z umieszczania jakichkolwiek instrukcji w głównej pętli programowej. Jedyną instrukcją która się tam znajduje, jest instrukcja odświeżania obiektu wielowątkowości. Cały program podzielono na dwa wątki, z których jeden wykonuje się co 5 ms, natomiast drugi co 1000 ms. Realizacja tego zadania polega na stworzeniu przerwania programowego, które liczy czas między kolejnymi wywołaniami podprogramów obsługi wątków. Jeśli w momencie wykonywania wątku odbywającego się co 1000 ms, nastąpi konieczność wykonania wątku 5 ms zostanie on wykonany. Natomiast zatrzymany podprogram zostanie wznowiony po obsłudze wątku szybkiego. Takie rozwiązanie pozwala na fikcyjne wrażenie, że program wykonuje niezależnie dwie operacje jednocześnie. W rzeczywistości, wątek bardziej skomplikowany jest zatrzymywany, ale dzieje się to na tyle szybko, że człowiek nie jest w stanie tego zauważyć. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest jednoczesne liczenie wschodu słońca, co jest dość skomplikowane i sprawdzanie stanu przycisków czy aktualizacja położenia kierownicy [1].

Dość interesującym jest też pomiar napięcia. Wykorzystujemy tu bardzo szybko przeładowywany bufor cykliczny. Ma on formę 20 elementowej tablicy, każdy następny pomiar jest ładowany do jej kolejnego elementu. Po czym obliczana jest średnia arytmetyczna. Dzieje się to na tyle szybko, że nawet

szybki ruch kierownicą pozwala na szybką reakcję i zaświecenie odpowiedniego światła. Z drugiej jednak strony, program jest niewrażliwy na zakłócenia i nie ma problemu z błędnymi pomiarami.

Usypianie mikrokontrolera następuje po wyłączeniu zapłonu i zgaszeniu świateł wewnętrznych, pobiera on wtedy według noty aplikacyjnej max 15 μ A prądu. Oczywiście ze względu na sprawność przetwornicy, rezystory podciągające i kilka innych przyczyn prąd pobierany przez cały sterownik jest zdecydowanie większy. Jednakże nie powinien przekraczać 10 mA w stanie usypienia. Wybudzenie następuje po przekręceniu kluczyka lub zaświeceniu światła wewnątrz kabiny. Realizowane jest to przez przerwanie sprzętowe, reagujące na stan niski. Wymusiło to zastosowanie prostego negatora zbudowanego z tranzystora NPN.

Następnym omawianym fragmentem programu jest odczyt położenia kierownicy, a raczej sprawdzenie, czy wychylenie kierownicy jest na tyle duże, że można włączyć doświetlanie konkretnego zakrętu. Jest to realizowane w banalnie prosty sposób. Skoro użyliśmy potencjometru liniowego, wykres zmian napięcia od wychylenia będzie w przybliżeniu liniowy, to z kolei oznacza że znając punkt centralny, wystarczy załączać doświetlenie po przekroczeniu odpowiedniego napięcia w dół lub w górę od napięcia w pozycji środkowej. Punkt centralny ustawiamy sami naciskając odpowiedni przycisk. Następnie jest on zapisywany do EEPROM'u. Przy każdym uruchomieniu urządzenia natomiast jest ono z tego miejsca odczytywane.

Z modułu GPS sterownik potrzebuje 3 informacji:

- aktualny czas i datę,
- położenie (długość i szerokość geograficzną),
- prędkość.

Z położenia oraz daty wyliczana jest długość i szerokość geograficzna (odpowiada za to biblioteka TimeLord). Układ sprawdza, czy aktualna prędkość jest nie większa niż 40km/h, jeśli nie to możliwe jest korzystanie z doświetlania przez włączenie kierunkowskazu. Dodatkowo aktualny czas jest używany do aktualizacji RTC [1, 2].

Moduł GPS komunikuje się z Arduino przez UART1, za logikę działania odpowiada biblioteka TinyGPS++. Obiekt z danymi GPS należy aktualizować i taka funkcja jest realizowana w odpowiednim przerwaniu. W momencie gdy przez jakiś czas nie odbierzemy żadnych danych zerowana jest flaga „*gpsOnline*”, która blokuje część funkcji sterownika, np. aktualizację czasu. Dodatkowo jeśli odebrane dane są błędne możemy to sprawdzić za pomocą

szeregu funkcji „*isValid()*”, np. „*location.isValid()*”, która zwraca wartość „*true*” jeśli dane są poprawne [3].

Moduł RTC komunikuje się z Arduino przez sprzętowe I²C. Czas z RTC pozwala na start układu od razu po wybudzeniu i nie potrzebuje dzięki temu czekać na start GPS-u. Moduł GPS potrzebuje kilkadziesiąt sekund zanim zacznie wysyłać nam poprawne dane (wg. noty aplikacyjnej jest to ok. 30-40 sekund). Jest to główny powód dla którego układ został wyposażony w RTC.

Dodatkowo sterownik wysyła przez port USB dane o swoim aktualnym stanie, co pozwala w prosty sposób na sprawdzanie błędów w kodzie. Dodatkowo strona przed wysłaniem danych jest czyszczona, co pozwala na bardzo dobry odczyt aktualnie obserwowanego parametru.

Dodatkowo potrzebne okazało się napisanie krótkiego fragmentu kodu, który pozwala nam na test, czy kierunkowskaz jest włączony. Jak wiemy, kierunkowskazy pulsują z prędkością około 60 razy na minutę. Tak więc sygnał z kierunkowskazu uruchamia licznik liczący w dół, jeśli w ciągu lekko ponad sekundy sygnał z kierunkowskazu się ponowi następuje wpisanie do licznika jego maksymalnej wartości i proces rozpoczyna się od nowa.

Test napięcia na akumulatorze, a co za tym wykrzycie faktu uruchomienia silnika polega na tym, że kiedy zmienna przechowująca stan uruchomienia silnika jest równa wartości „*false*”, sterownik czeka na wzrost napięcia powyżej 13 V. Natomiast stan wyłączenia silnika jest wykrywany przez spadek napięcia poniżej 12,5 V. Jest to tak zwana histereza i sprawia ona, że nie ma problemu przy uruchomieniu wielu odbiorników prądu na wolnych obrotach silnika.

PROJEKT – CZĘŚĆ ELEKTRONICZNA

Prototyp urządzenia został zbudowany z kilku oddzielnych modułów, które zostały połączone z płytą mikrokontrolera przy pomocy listwy kołkowej tzw. goldpinów, a następnie skręcone na śruby dystansowe. Rozwiązanie takie pozwala na budowanie i uruchamianie każdego modułu z oddzielną, a ponadto dodawanie kolejnych modułów w przyszłości oraz w razie konieczności prostą wymianę uszkodzonego modułu.

Urządzenie składa się z:

- głównej płytki mikrokontrolera, modułu Arduino Mega 256,
- modułu GPS,
- modułu RTC wraz z pamięcią szeregową (nie wykorzystana w projekcie) i baterią podtrzymującą zegar,

- pięciu modułów układu dopasowującego napięcie panujące w samochodzie 12 V do poziomu akceptowalnego przez mikrokontroler czyli 5 V,
- dwóch modułówysterowania przekaźników,
- modułu wykonawczego z tranzystorami MOSFET, sterowanymi przez PWM,
- dwóch zasilaczy impulsowych,
- płytek uniwersalnych, na których dokonano połączeń między modułami.

MODUŁ GŁÓWNY

Moduł ten posiada w sobie dwa mikrokontrolery, główny ATmega2560 oraz mniejszy ATmega16U2, który służy do połączenia całego urządzenia do portu USB komputera. Spełnia on funkcję emulacji portu szeregowego i tak też jest wykrywany przez system. Natomiast wgrany fabrycznie w „duży” mikrokontroler bootloader pozwala nam na zaprogramowanie mikrokontrolera przez wykorzystanie do tego celu portu UART0. Takie rozwiązanie znacznie przyspiesza i ułatwia szybkie testowanie zmian jakie wykonujemy w kodzie. A dodatkowo nie zabiera zbyt wiele pamięci flash, oraz nie wpływa wcale na kod, który do urządzenia ładujemy. Jedyną słabą stroną takiego rozwiązania to fakt, że nie powinniśmy używać portu UART0 do niczego innego niż debugowanie. Jednakże, biorąc pod uwagę, że UART-ów sprzętowych mamy do dyspozycji aż 4, a debugowanie jest przy użyciu tego portu bardzo wygodne, jest to świetne wyjście.

Dodatkowo jest na nim kilka diod sygnalizujących pracę urządzenia, jest to warte wspomnienia z tego powodu, że konieczne okazało się wylutowanie diody PWR, która sygnalizuje zasilanie urządzenia. Pobierała ona prąd około 15 mA co znacząco wpływałoby na rozładowanie akumulatora przy wyłączonym zapłonie (około 0,36 Ah na dobę zużywane tylko i wyłącznie przez diodę, nie licząc sprawności przetwornicy oraz strat w postaci ciepła wydzielanych na rezystorze szeregowo połączonym z diodą). Dioda L jest możliwa do wyłączenia programowo, natomiast diody Tx oraz Rx działają tylko w momencie podłączenia Arduino do USB, co podczas normalnej pracy urządzenia nie ma miejsca. Wobec tego nie trzeba było ich wylutowywać. Należało natomiast wylutować również diodę z jednej przetwornicy z tych samych przyczyn co w przypadku diody PWR [1, 3].

Moduł posiada również stabilizator napięcia 3,3V, który również został wylutowany. Nie został on wykorzystany, a pozbycie się każdego elementu który pobiera prąd jest szczególnie ważne, aby zejść z pobieranym prądem

w stanie jałowym do niezbędnego minimum. Wymusiło to także wylutowanie tranzystora MOSFET, który odpowiada za wyłączenie zasilania z portu USB w momencie gdy nie jest doprowadzone napięcie z zewnątrz. Było to konieczne, ponieważ zrezygnowano z wewnętrznego stabilizatora liniowego i wykorzystano pin dzięki, któremu można zasilić układ z jego pominięciem. Nie działa jednak wtedy przełącznik na wspomnianym tranzystorze. Nie wylutowanie go mogłoby spowodować uszkodzenie układu i/lub komputera.

Kolejnym ciekawym aspektem konstrukcji jest wykorzystanie jednego z wejść wyzwalania przerwania do kontroli budzenia układu z trybu Power Down, w którym mikrokontroler pobiera znikomy prąd (rzędu kilkudziesięciu mikro amperów). Jako, że układ wyzwalania reaguje na stan niski, zdecydowano się na dołożenie prostej bramki logicznej NOT zbudowanej na jednym tranzystorze bipolarnym BC547. Potrzeba taka była podyktowana tym, że w samochodzie mamy dwie linie, które wybudzają układ. Jest to sygnał otwarcia drzwi oraz włączenie zapłonu. Jednakże, sygnał otwarcia drzwi posiada w trakcie włączenia stan niski, a zapłon stan wysoki. Wobec tego sygnał z wyłącznika w drzwiach jest podawany przez negator, a sygnał z zapłonu pomija go (oczywiście biorąc pod uwagę wcześniejszą translację napięcia).

W przypadku przetwornika A/C zdecydowano się na wewnętrzne źródło napięcia odniesienia, nie jest tu potrzebna duża dokładność, a ewentualne błędy pomiarowe są wygładzane programowo, co zostanie opisane bardziej szczegółowo w następnym rozdziale owej pracy. Sygnał jest podawany na przetwornik przy pomocy prostego dzielnika złożonego z dwóch rezystorów, oraz dodatkowo zabezpieczony diodą Zenera, aby nie przekroczyć maksymalnego napięcia wejściowego na przetworniku, które wynosi dokładnie tyle, ile napięcie referencyjne (w tym konkretnym układzie 5 V).

Cała reszta nie wymaga już szerszego omówienia, wykorzystano kilkadziesiąt portów GPIO, drugi UART sprzętowy do odbierania danych z GPS-u, sprzętowe I²C do komunikacji z modułem RTC (rezystory podciągające znajdują się już w module), oraz wyjścia PWM, które trafiają na moduł układu wykonawczego tranzystorów MOSFET.

W celu prawidłowego odczytu sygnału potrzebnego do zainicjowania funkcji doświetlającej otoczenie pojazdu pochodzącej z zamka centralnego wymagane było podciągnięcie linii do 12 V co jest realizowane poprzez rezystor 47 k Ω znajdujący się wewnątrz układu. Rozwiązanie takie z jednej strony nie zmienia sposobu działania fabrycznego sterownika oświetlenia kabiny, z drugiej

natomiast strony minimalizuje możliwość wystąpienia napięcia na granicy przełączenia stanu logicznego.

MODUŁ GPS

Wykorzystano gotowy moduł GPS GY-GPS6MV2. Moduł ten wykorzystuje odbiornik GPS NEO-6M firmy U-Block. O ile sam odbiornik posiada kilka opcji transmisji, w tym USB, SPI, I²C, oraz dwa UART-y, to sam moduł ma wyprowadzony jeden z UART-ów. Dodatkowo, posiada on stabilizator 3,3 V, baterię podtrzymującą wewnętrzną pamięć GPS-u, gniazdo antenowe U.FL, diodę LED, która co sekundę informuje o zasięgu satelitów, oraz pamięć EEPROM. Nie było potrzeby ingerencji w układy zasilania, gdyż GPS włączany jest dopiero wraz z wybudzeniem układu, więc ilość pobieranej energii ma drugorzędne znaczenie. Warto wspomnieć, że po podłączeniu urządzenia przez konwerter USB-UART możemy GPS skonfigurować oprogramowaniem, które dostarcza producent. Ilość opcji jest imponująca, w tym przypadku jednak ograniczono się do ustawień standardowych [4].

MODUŁ RTC

Wykorzystano tu gotowy moduł TinyRTC. Producent jest nieznan, jednakże jest to projekt oparty o układ DS1307 produkcji Dallas Semiconductor. RTC ten posiada dużą ilość funkcji, jednakże w projekcie ograniczono się do wykorzystania daty i godziny. Układ wymaga podłączenia małego kwarcu „zegarkowego” o częstotliwości 32.768 kHz. Dokładność układu ma tu drugorzędne znaczenie gdyż czas jest stale aktualizowany przez GPS. Zaletą jednak jest wejście na zasilanie awaryjne. Układ w momencie braku głównego zasilania przechodzi na zasilanie awaryjne. Dodatkowo zmniejsza swój pobór mocy do wartości rzędu piko amperów. Może więc wytrzymać bez zasilania spokojnie około roku. Pomaga w tym wbudowany moduł gniazdo na baterię CR2032. Układ komunikuje się z procesorem przy pomocy magistrali I²C. Dodatkowo warto wspomnieć, że jest tu też do dyspozycji mała pamięć szeregowa 24c32 o pojemności 32 kB. Nie została jednak wykorzystana w opisywanym układzie [5].

MODUŁ DOPASOWUJĄCY NAPIĘCIE

Moduł dopasowujący napięcie jest konieczny w projekcie ze względu na fakt, że w instalacji samochodowej mamy napięcia rzędu 12 - 14 V, natomiast mikrokontrolerze możemy podać 5 V. Został tu wykorzystany projekt firmy

SparkFun Electronics, który wykorzystuje tranzystory MOSFET BSS138. Układ w założeniu jest dwukierunkowy, jednakże, jego działanie nie było do końca w zgodzie z założeniami projektu. Konkretniej rzecz ujmując, układ miał podciągniętą linię wejściową po stronie napięcia 12 V do stanu wysokiego, co nie w każdym przypadku w instalacji samochodowej jest pożądane i w najgorszym przypadku może doprowadzić do braku odczytu lub błędnego działania niektórych układów w samochodzie. Zdecydowano się więc na zmianę wartości rezystora podciągającego do $1k\Omega$, oraz podciągnięciu tego stanu do masy. Dzięki temu układ przy nie podłączonym wejściu posiada na wyjściu stan niski. Dodatkowym atutem jest bardzo mały rozmiar takiego modułu ($10\times 10\text{mm}$ przy 4 kanałach).

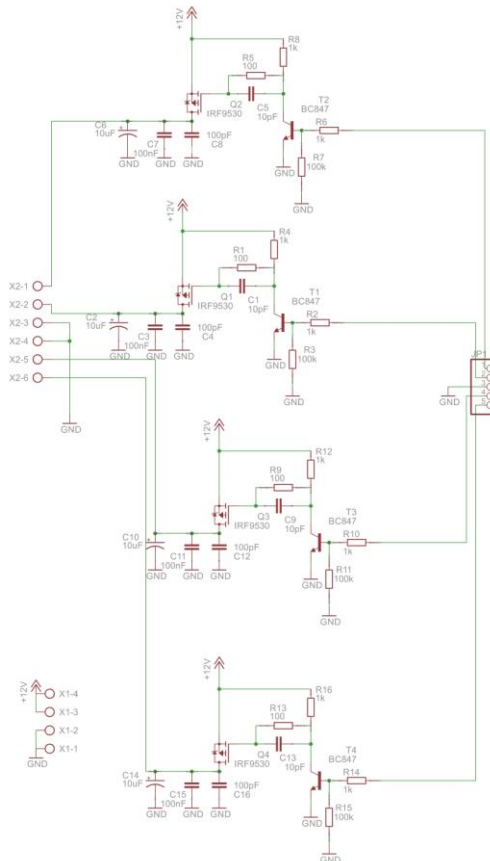
MODUŁ STEROWANIA PRZEKAŹNIKAMI

Moduł ten jest wyjątkowo prosty i jest to standardowy układ dwóch tranzystorów PNP i NPN, którego zadaniem jest wysterowanie przełączników przez podanie na nie napięcia 12 V. Wykorzystano 2 tranzystory ze względu na fakt, że bazę tranzystora PNP (a taki był konieczny ze względu na napięcie wyjściowe równe napięciu instalacji w samochodzie) należało by spolaryzować przez rezystor podciągnięty do napięcia zasilania. Oznacza to, że w stanie wysokim na porcie mikrokontrolera mieli byśmy napięcie znacznie wykraczające poza normy. Dodatkowo przy dużych prądach kolektora prąd bazy nie należy do małych (porównując do normy dla mikrokontrolera), więc logicznym wyjściem było zastosowanie dwóch tranzystorów. Wykorzystano w tym celu BC869 jako tranzystor mocy, oraz BC847 jako tranzystor sterujący.

MODUŁ WYKONAWCZY MOSFET

W projekcie wykorzystano wyjścia sterowane przez MOSFET-y. Głównym powodem takiego zamierzenia, było wykorzystanie sterowania wypełnieniem PWM. MOSFET-y do takiego celu nadają się świetnie, chociaż nie brakowało tutaj pewnych problemów. Pierwszym z nich jest fakt, że potrzeba było sterowania napięciem dodatnim. Nie bez powodu MOSFET-y produkowane są głównie w wersji z kanałem N. Mają one dużo niższą rezystancję w stanie włączenia (parametr $R_{ds(on)}$ [T]). Jednak, wykonując pobieżne obliczenia wyszło na to, że nie ma to większego znaczenia, odbiornik (lampy LED) mają stosunkowo niski pobór prądu, więc moc odkładająca się na MOSFET-ach jest stosunkowo nie wielka. Co więcej, pozwoliło to na rezygnację z radiatora i wykorzystanie tranzystorów w obudowie D2PAK, czyli do montażu

powierzchniowego. Jako tranzystor wykorzystano IRF9530. Charakteryzuje się on parametrem $R_{ds(On)}$ na poziomie 0.3Ω oraz dużym prądem drenu. W tym momencie jednak pojawia się problem w sterowaniu takiego tranzystora. Po pierwsze jest to napięcie bramki, które powinno być dosyć wysokie, aby uniknąć niebezpiecznego zjawiska półotwarcia bramki. Musimy więc wykorzystać tranzystor do jej przeładowywania. Po drugie, bramka musi być przeładowywana szybko. Częstotliwość PWM jest wysoka, a co za tym idzie bramka, która de facto jest pojemnością, musi być otwierana i zamykana jak najszybciej. Wykorzystano tutaj prosty sterownik na bazie małego tranzystora NPN BC847. Po wstępnych testach okazał się on wystarczający, do przeładowywania bramki, a co za tym idzie prawidłowym sterowaniem MOSFET-a.



Rys. 1. Schemat modułu wykonawczego MOSFET

ZASILACZ IMPULSOWY

Wykorzystanie zasilacza impulsowego było od samego początku najsensowniejszym wyjściem przy budowie urządzenia. Po pierwsze, urządzenia takie są obecnie bardzo tanie. Po drugie nie grzeją się one tak jak stabilizatory liniowe. Po trzecie, ich sprawność jest zdecydowanie lepsza, co było kluczowym aspektem w realizacji projektu. Natomiast wybór konkretnego rozwiązania był właściwie dziełem przypadku, z ewentualnym zamiarem zmiany w przyszłości. Mimo to, okazało się, że świetnie pasuje ono do założeń projektowych. Oparta jest ona na układzie LM2596. Do działania potrzebuje dwóch pojemności, diody Schottky'ego oraz dławika. Posiada wystarczającą moc wyjściową i wystarczającą sprawność. Wykorzystano gotowy moduł przetwornicy, a raczej dwa takie moduły, ze względu na ułatwienie w odłączaniu prądowych peryferiów. Wykorzystano w tym celu pin piąty układu, który pozwala nam na wprowadzenie przetwornicy w tryb standby [V]. Pobiera ona wtedy około 80 μ A prądu, co jest wartością bardzo niską.

MODUŁY PŁYTEK UNIWERSALNYCH

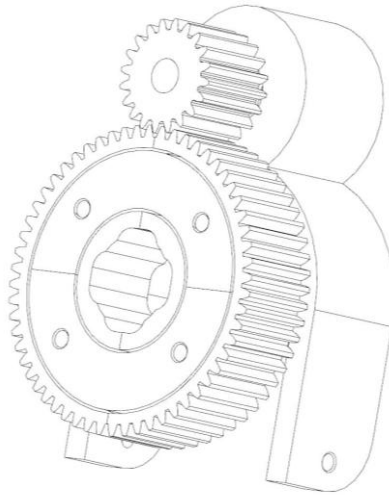
Mimo, że początkowo nie zamierzano korzystać z płytek uniwersalnych w realizacji prototypu okazało się, że mimo wielu wad, rozwiązanie to, ma jednak sporo istotnych zalet. Jak wiadomo nawet przy dokładnym przemyśleniu całości, zawsze w momencie uruchamiania prototypu okazuje się, że coś nie działa do końca zgodnie z założeniami. Płytki uniwersalne umożliwiają w takim wypadku szybkie naniesienie poprawek. Np. poprzez proste dodanie dodatkowej pojemności do filtracji zasilania. Ponadto układ zmieniał się nieznacznie w trakcie realizacji i płytka uniwersalna nijako umożliwiała znaczną oszczędność czasu potrzebnego na przebudowę pewnych części kontrolera.

FAZA RZECZYWISTA PROJEKTU

Jednostka sterująca została zamknięta w zwartej obudowie posiadającej stopień ochrony IP 40. Całość udało się schować w tunelu deski rozdzielczej, umiejscowionym pod radiem. W celu zabezpieczenia układu przed zwarciami wykorzystano samochodowe bezpieczniki topikowe o wartościach 1 A dla plusowego bieguna akumulatora po stacyjce (ACC) pełniącego rolę sygnałową. Bezpieczniki o wartości 2 A dla zasilania przetwornic oraz 7,5 A dla zasilania układu napięciem 12 V, które jest wykorzystywane do zasilania halogenów oświetlających oraz oświetlenia otoczenia.

SPRZĘŻENIE ZWROTNE KIEROWNICY

W sprzężeniu zwrotnym kolumny kierowniczej zastosowano osiowy potencjometr wieloobrotowy o rezystancji 5 k Ω . Uchwyt, w którym jest zamontowany rezystor oraz przekładnia zębata zostały wykonane w technologii druku przestrzennego. Otrzymane przełożenie kół zębatach wynoszące 1:3 idealnie współgra z potencjometrem, którego ilość obrotów wynosi 10, a obrót kierownicy od maksymalnego skreću kół w lewo do maksymalnego skreću kół w prawo jest równy 1062 stopni, co przekłada się na niecałe trzy obroty kierownicą. Główne koło zębata składa się z dwóch połówek pierścienia skreconych ze sobą dwoma kolejnymi pierścieniami. Taki efekt pozwala na zamontowanie sprzężenia bez ingerencji w układ kierowniczy, a nawet bez jego tymczasowego demontażu. Na rysunku 9.1 został przedstawiony model komputerowy przekładni wraz z obudową potencjometru i uchwytem montażowym w jednym, a na rysunku 2 już w całości zamontowany na kolumnie kierowniczej w pojeździe.



Rys. 2. Ilustracja przekładni zębataj wraz z obudową na potencjometr i uchwytem do montażu na kolumnie kierowniczej

OPIS PRZEŁĄCZNIKÓW STERUJĄCYCH

W celu kontroli nad sterownikiem oraz możliwością dostosowania oświetlenia do chwilowych warunków oraz potrzeb kierowcy trzeba było wyposażyć układ w przełączniki sterujące. Głównym przełącznikiem jest tu

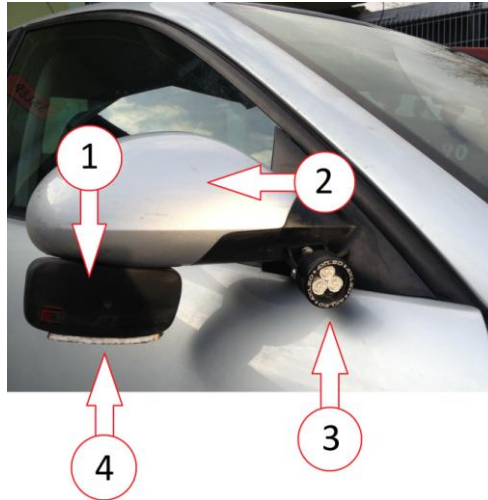
stacyjka na kluczyk odpowiadająca za pracę sterownika. Jest to swojego rodzaju wyłącznik awaryjny, którego nie będzie mogła przełączyć osoba niepowołana, co w czasie jazdy mogłoby spowodować wypadek. Gdy zostanie przekręcona w pozycję wyłączoną układ inteligentnego oświetlenia zostanie wyłączony i cała instalacja elektryczna pojazdu będzie funkcjonować tak jak przed wszelkimi modyfikacjami.

Panel sterujący zamontowano w obudowie czujnika ultradźwiękowego wchodzącego w skład alarmu, który mieści się w przedniej części podsufitki, tuż obok oświetlenia kabiny. Przełączniki 1-pozycyjne zostały odrzucone, ponieważ zależało nam na tym, aby kierowca miał możliwość szybkiej oceny, który z poszczególnych układów jest w danej chwili uruchomiony. W przełącznikach wielopozycyjnych obsługujący ma możliwość sprawdzenia, w której pozycji znajduje się dźwignia przełącznika. Przełącznik 1-pozycyjny nie daje nam takiej możliwości, więc należało by instalować kontrolki informacyjne lub wyświetlacz LCD. Z kolei korzystanie z wyświetlacza mogłoby rozpraszać kierowcę oraz wymagałoby użycia płynnej regulacji jasności wyświetlacza w zależności od nasłonecznienia, tak aby ekran LCD nie oślepiał kierowcy w nocy oraz był czytelny za dnia. Dlatego w skład układu sterującego wchodzą przełączniki dźwigniowe 2- i 3-pozycyjne.

W obowiązującym prawie jest napisane, że w czasie włączania świateł roboczych obowiązkowo musi być włączana kontrolka informująca, że dane światło jest zapalone. W związku z tym zostały zamontowane w desce rozdzielczej dwie kontrolki o barwie czerwonej; po jednej do każdego halogenu doświetlającego.

Przed zakupem reflektorów doświetlających trzeba podjąć decyzję o wyborze lampy oraz jej umiejscowieniu. Zazwyczaj kupujący ma dwie opcje do wyboru; oświetlenie pasujące w miejsce przednich lamp przeciwmgielnych lub oświetlenie przeznaczone do montażu na karoserii pojazdu. Podczas wykonywania projektu wybrano drugie rozwiązanie z powodu fabrycznie zamontowanego oświetlenia przeciwmgielnego oraz znalezienia na rynku reflektorów o bardzo małych rozmiarach. Na lokalizację wybrano przestrzeń pod lusterkami zewnętrznymi. Dzięki temu został uzyskany prawidłowy kierunek oraz szeroki rozsył wiązki światła. Ze względu na odpowiednie oświetlenie przestrzeni wokół pojazdu, a w szczególności okolic drzwi i klamek w tym samym miejscu znalazły się lampy odpowiadające za oświetlenie otoczenia pojazdu.

Na rysunku 3 zostało przedstawione umiejscowienie oświetlenia. Reflektor (3) doświetlający zakręty został zamontowany na fabrycznym lusterku (2). Lampa (4) oświetlająca obszar wokół pojazdu została przykręcona do lusterka (1) eliminującego martwe pole.



Rys. 3. Umiejscowienie dodatkowego oświetlenia zewnętrznego

PODSUMOWANIE

Celem pracy było zaprojektowanie uniwersalnego układu odpowiadającego za sterowanie oświetleniem w samochodach. Po przeanalizowaniu założeń technicznych oraz przeszkód związanych z problematyką zagadnienia okazało się, że największym wyzwaniem technicznym było dostarczenie sterownikowi informacji o prędkości pojazdu. Bardzo pomocny okazał się tu moduł GPS. Dzięki niemu układ stał się o wiele bardziej przystosowany do montażu w większej ilości przeróżnych pojazdów. Warto wspomnieć też, że przy budowie projektu w większości użyto elementów posiadających obudowy SMD. W trakcie realizacji prototypu jasnym stało się, że montaż powierzchniowy ma nad przewlekany szereg zalet, a do najważniejszych należy dużo szybszy montaż oraz brak konieczności wiercenia otworów.

Po wykonaniu oraz zainstalowaniu modułu w testowym pojeździe były potrzebne lekkie poprawki kosmetyczne w kodzie programu. Oprócz tego wymagana była kalibracja środkowego położenia, przy której koła pojazdu są skierowane do jazdy prosto. Po tych zabiegach układ zaczął działać w pełni sprawnie. Podczas jazdy testowej nie zostały wykryte żadne nieprawidłowości.

Jednostka reaguje w sposób płynny na wszelkie zmiany. Zostały sprawdzone także kontrolki określające stan oświetlenia w pojeździe, których wymaga prawo. Zarówno przy włączeniu oświetlenia fabrycznym pokrętkiem jak również poprzez zainstalowany układ kontrolki od świateł: drogowych, przednich oraz tylnych pozycyjnych, awaryjnych, światła przeciwmgielnego przedniego oraz tylnego, a także roboczego jakim są halogeny doświetlające działają prawidłowo. Poprawne działanie miało też miejsce w przypadku funkcji umożliwiającej kierowcy niezależnego włączenia i wyłączenia świateł dziennych, a także samoczynnego wyłączenia świateł dziennych w trakcie włączania świateł mijania, drogowych lub przeciwmgłowych z wyjątkiem chwilowego włączeniu świateł drogowych jako sygnału świetlnego.

Stacyjka, w którą został wyposażony układ prawidłowo dezaktywuje cały moduł i w pełni przywraca kontrolę nad światłami w pojeździe.

W układzie znalazły się dwie przetwornice zasilające moduł. Ponieważ testowy pojazd był wyposażony w instalację CB radio trzeba było sprawdzić układ pod względem powstających zakłóceń, co w skrajnych przypadkach może uniemożliwić korzystanie z radia. Po uruchomieniu zamontowanego układu przeprowadzono próbę rozmowy. Eksperyment polegał na odbiorze i nadawania przez CB radio. Konwersacja odbyła się bez szumu i zakłóceń co jednoznacznie stwierdza, przejście testu pomyślnie.

Przeprowadzone pomiary zużycia energii elektrycznej wykazały, że w czasie uśpienia układu pobór prądu oscyluje wokół wartości 7 mA, a dla układu wybudzonego z uśpienia jest to niecałe 210 mA.

Dzięki umiejscowieniu anteny GPS na wewnętrznej stronie przedniej szyby udało się uzyskać satysfakcjonujące osiągi. Odbierany sygnał miał dobrą jakość, gdy pojazd poruszał się nie szybciej niż 120 km/h. Powyżej prędkości 165 km/h zaobserwowano utraty sygnału sięgające nawet kilku minut. Utraty sygnału były też zauważalne podczas jazdy w tunelu. Po wyjechaniu z pod przeszkody sygnał wracał w przeciągu kilkunastu sekund.

W trakcie tworzenia projektu starano się uzyskać wartości, aby finalny produkt mógł spełniać normy jakie stawia się urządzeniom elektrycznym w pojazdach samochodowych. W tym przypadku jednostka sterująca została zainstalowana w plastikowej obudowie cechującej się stopniem ochrony IP 40. Całość umieszczono w tunelu deski rozdzielczej, która znajduje się w kabinie pasażerskiej.

W projekcie cała logika zasilana jest napięciem 5 V, a więc koniecznym było zadbanie o odpowiednie zasilanie. Zrealizowano to dzięki wykorzystaniu dwóch przetwornic step-down. Według danych katalogowych przetwornice mogą być zasilane napięciem stałym wynoszącym nawet 40 V co przekłada się na wysoką odporność na zwiększone napięcie zasilania. Sama jednostka główna działa bezproblemowo już przy zasilaniu napięciem rzędu 5 V. Zastosowane bezpieczniki oraz fabryczne zabezpieczenie przetwornicy przed skutkami odwrotnej polaryzacji, a także odporność na skrajne temperatury jest zadowalająca.

Testy układu nie trwały zbyt długo jednak można mieć nadzieję, że skonstruowany układ będzie działał niezawodnie przez długi czas między innymi dzięki ograniczeniu elementów ruchomych oraz prostoty całej jednostki. Wszelkie usterki powinny być w miarę szybko naprawiane po przez możliwość łatwej wymiany poszczególnych modułów.

Podstawowym problemem całości jest ogromna liczba przewodów jakie trzeba podłączyć do układu. Mimo, że takie modyfikacje są możliwe, a nawet niezbyt skomplikowane pochłaniają sporo czasu. Jak można zauważyć, większość przewodów, które w sterowniku się znalazły podają sygnały na wejście. Wobec tego, warto byłoby sprawdzić, czy w samochodzie da się odczytać te same sygnały dzięki podłączeniu się do magistrali takich jak CAN czy LIN. Jak okazało się w trakcie realizacji projektu takie rozwiązania mimo, że trudne z punktu widzenia samego projektu są dużo wygodniejsze i bardziej niezawodne w późniejszym użytkowaniu. Co więcej firma Atmel (która zresztą produkuje mikrokontroler wykorzystany w projekcie) posiada w swojej serii mikrokontrolerów ATmega, mikrokontroler zbudowany specjalnie do komunikacji z magistralą CAN. Wymagałoby to jednak znacznie większej ilości testów, prób oraz dostępu do większej ilości pojazdów, w których takie rozwiązania można by próbować zaimplementować. Co więcej w nowszych pojazdach doświetlanie zakrętów czy oświetlenie dzienne montowane jest seryjnie, więc nie byłoby potrzeby stosowania sterownika. Pewnym rozwiązaniem byłoby zbudowanie modułów, które komunikowały by się ze sobą. Co prawda w takim przypadku ilość przewodów byłaby nawet większa niż obecnie, ale ich sumaryczna długość znacznie by spadła. Większość przewodów biegnie w okolice przełącznika świateł oraz do podsufitki. Co oznacza, że wystarczyłyby dwa takie moduły.

Oczywiście na sam koniec warto rozważyć, jakie dodatkowe funkcje można by realizować przy pomocy takiego układu. Jak się okazało ilość linii GPIO oraz

pamięci flash pozwoliły by na znaczne rozszerzenie funkcjonalności. W planach były na przykład czujniki wilgotności czy temperatury oraz duży dotykowy wyświetlacz TFT. Które jednakże finalnie nie zostały zaimplementowane w sterowniku.

LITERATURA

- [1] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [2] <http://forum.arduino.cc/index.php?PHPSESSID=8iu7ct4lu3v9cb6ek6dgmvb397&#c2>
- [3] <http://forum.atnel.pl/portal.php>
- [4] <https://www.openimpulse.com/blog/products-page/product-category/gy-neo6mv2-gps-module/>
- [5] <http://kaktusa.pl/tiny-rct-wielki-maly-modul/>

PROJEKT DRONA CYWILNEGO DO ZASTOSOWAŃ REKLAMOWYCH

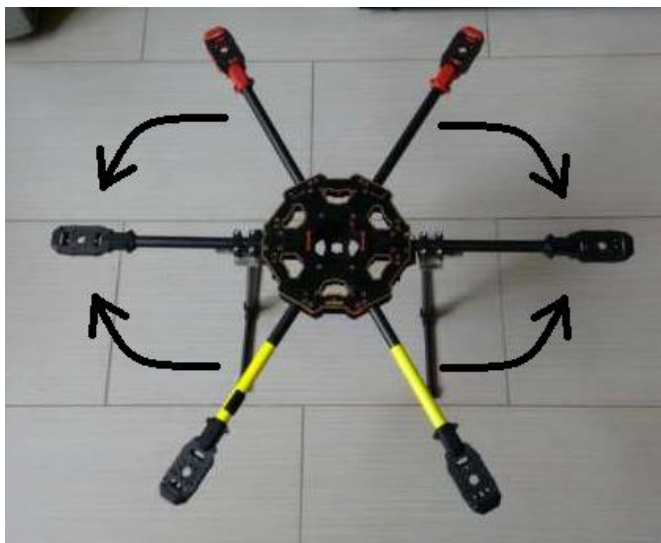
WSTĘP

Moda na komercyjne wielowirnikowce zaczęła się całkiem niedawno i rozwija się w zastraszającym tempie. Jeszcze 10 lat temu nikt nie słyszał o latających multikopterach, a dzisiaj za cenę kilkuset złotych można nabyć chociażby w supermarkecie swój własny model. Dzisiaj nikogo już nie dziwi widok drona na niebie. Niska cena, przy relatywnie dobrej jakości sprzętu, jest jednym z czynników powodujących wzrostu ich popularności. Jednak największym motorem przyczyniającym się do sukcesu wielowirnikowców jest łatwy dostęp do gotowych zestawów. Postęp technologiczny jaki nastąpił w ostatnich latach spowodował, że nawet osoba kompletnie nie znająca się na sprzęcie, może sobie kupić model, który po wyjęciu z pudełka jest gotowy do lotu.

KONSTRUKCJA MULTIKOPTERA

Główny korpus (*ang. Centerplate*) zbudowany jest z dwóch identycznych elementów w kształcie sześciokąta foremnego. Obie płytki zostały wycięte z całego kawałka płyty szklano-epoksydowej o wielkości 500x500mm. Proces cięcia odbył się po uprzednim oklejeniu płyty taśmą papierową, na której zostały wyrysowane kontury płyt centerplate. Elementy te mają kluczowe znaczenie dla całej konstrukcji, gdyż to na nich rozkładają się wszystkie największe siły i przeciążenia działające na maszynę podczas lotu. Zadaniem tych elementów jest utrzymanie jak największej stabilności konstrukcji oraz umożliwienie czterem ramionom poruszania się pomiędzy nimi. W konsekwencji będzie istniała możliwość składania ich w celu łatwiejszego transportu całego multikoptera, gdyż było to głównym założeniem podczas budowy.

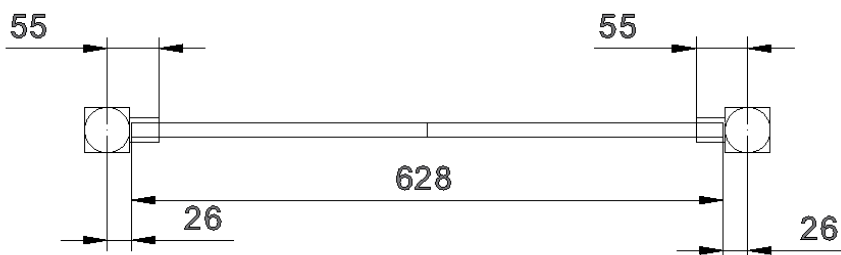
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe „ELMECOL”



Rys. 1. Główne założenie budowy drona

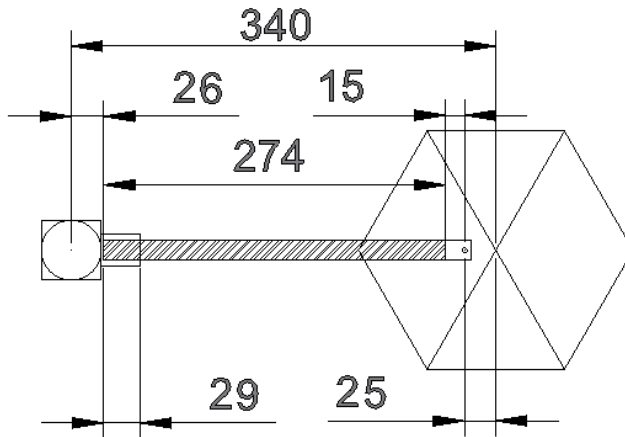
Ramiona zwane inaczej dźwigarami dzielą się na dwie zasadnicze grupy:

1. Stałe – ramię podwójne, wykonane z jednolitego fragmentu rurki węglowej. Umieszczone na jednej z przekątnych sześciokątnej płytki. Dźwigar ten jest nieruchomy elementem wielowirnikowca. Na przeciwległych końcach ramienia dodatkowo zamontowane są łoża, do których przymocowane są silniki. Uchwyty na silniki są nieruchome i na stałe przymocowane do ramion. Długość jednolitej rurki wynosi 628 mm. Całość konstrukcji zwymiarowana jest na poglądowym rysunku 2.



Rys. 2. Wymiary dźwigara stałego

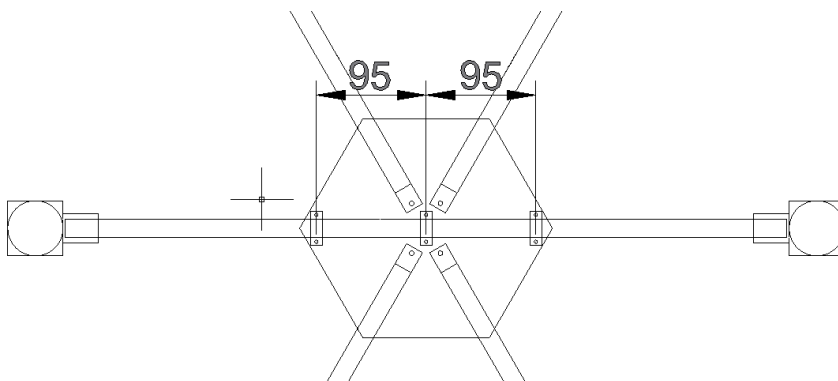
2. Skrętne – ruchome elementy konstrukcji. Każde z nich umiejscowione jest na przedłużeniu przekątnej *centerplate'a*.



Rys. 3. Wymiary i położenie rozłożonego ramienia w konstrukcji

Precyzyjne wykonanie tych ramion było bardzo ważne z uwagi na sztywność i stabilność konstrukcji podczas lotu maszyny.

Kolejnym etapem budowy było zamocowanie i wypoziomowanie ramion koptera względem *centerplate'a*. Ramię stałe zamocowane jest na pomocą przygotowanych do tego celu obejm rozmieszczonych w równych odległościach na płycie i przedstawionych na rysunku 4.



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów mocujących sztywne ramie do płyt *centerplate*

Montaż ramion skrzętnych zrealizowany został dzięki aluminiowym bolcom, pełniącym rolę zawiasu, umieszczonych w odległości 25 mm od środka centerplate'a. Zobrazowane zostało to na rysunku 3.

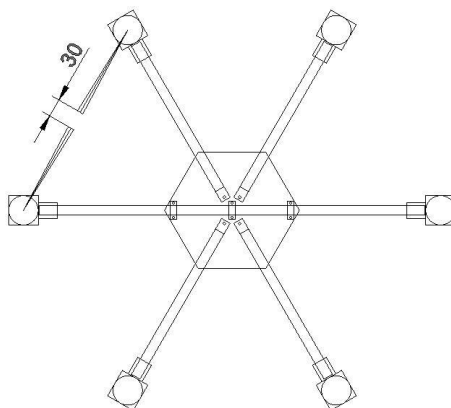
Poziomowanie jest etapem, którego niewolno ominąć, gdyż pełni ono rolę „centrowania” maszyny. Zakładając iż proces budowy w każdym z ramion przebiegał identycznie można również założyć, że są one względnie wyważone wobec siebie. Poziomowanie realizowane było poprzez umieszczanie maszyny pomiędzy idealnie równymi płaszczyznami i niwelowane poprzez nastawianie łoż, względem naprzeciwległego i kontroli poziomu centerplate'a.



Rys. 5. Poziomowanie ramion względem płyty centralnego

Kalibracja łoż jest tak ważna z uwagi na straty energii jakie musiałyby dodatkowo pobrać kontroler lotu a co za tym idzie również i rotory w celu niwelacji wykrytych krzywizn i błędów konstrukcyjnych. Taka optymalizacja ramy wydłuża czas lotu maszyny i żywotność podzespołów.

Budowa tak dużej maszyny ma na celu zbudowanie multikoptera wielozadaniowego, zdolnego unieść większe elementy o wadze do 5kg.



Rys. 6. Projekt ramy multikoptera wraz z wyznaczeniem zasięgu dobranych śmigieł

ZASADA DZIAŁANIA I DOBÓR PODSTAWOWYCH PODZESPOŁÓW

Projektując drona należy odpowiedzieć na pytanie: jakie będzie jego zastosowanie? W przypadku tego projektu maszyna będzie głównie wykorzystywana do celów reklamowych. Niewykluczone, że także w celach badawczych. . Określając przyszłe zastosowanie konstrukcji można wstępnie oszacować jej wielkość, a zatem parametry poszczególnych elementów. W opisywanym projekcie zastosowano sześcioramienną budowę kadłuba z klasycznym rozmieszczeniem silników. Ilość silników jest najczęściej powiązana z budową ramy. Projektowany hexakopter posiada sześć sztuk silników BLDC. Wymiary ramy wyznaczają ograniczenie rozmiarów zastosowanych śmigieł. One zaś skłaniają nas do wstępnego określenia zapotrzebowania mocy silników. Wstępne określenie powyższych specyfikacji umożliwi konkretny dobór parametrów urządzeń wchodzących w skład budowy drona.

ŚMIGŁA

Śmigło jest to urządzenie zbudowane z piasty i przyłączonymi do niej łopatom o budowie podobnej do profilu skrzydła. Całość konstrukcji osadzona jest na obrotowym wale. W wyniku oddziaływania śmigła na otaczające powietrze wytwarza ciąg. Siła ta przyczynia między innymi do unoszenia maszyny ponad ziemię. Ponadto w czasie lotu na statek powietrzny działają siły: nośna śmigła, oporu, ciężar modelu. Siły ciągu i oporu oraz ciężar muszą równoważyć się dla zapewnienia poziomego lotu ze stałą prędkością.

Podstawowe parametry profilu lotniczych:

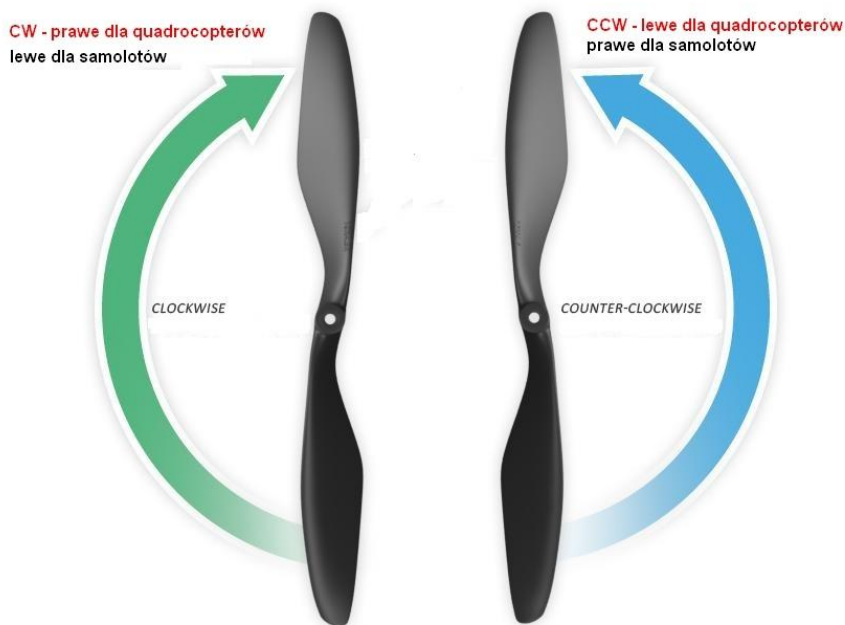
- cięciwa – odcinek łączący dwa skrajne punkty profilu lotniczego,
- linia szkieletowa – łączy środki okręgów wpisanych w profil,
- grubość profilu – największa odległość pomiędzy dolnym a górnym konturem profilu mierzona prostopadle do cięciwy.

Na podstawie podstawowych profili lotniczych budowane są śmigła. Posiada ono dwa podstawowe parametry tj. średnica i skok śmigła. Obie wartości wyrażone są w calach. Wybór odpowiedniego śmigła determinuje charakterystykę lotu i poprawność działania całej maszyny. W zależności od potrzeb stosuje się śmigła w różnych konfiguracjach. W przypadku gdy potrzebna jest duża siła ciągu stosuje się śmigła o dużych rozmiarów. Wartość ta rośnie wraz z wzrostem średnicy. Kolejnym ważnym parametrem jest skok, który wraz ze wzrostem własnej wartości, zwiększa prędkość modelu. Skok

śmigła jest parametrem, który wraz ze wzrostem własnej wartości, zwiększa prędkość modelu. W multikopterach dopasowuje się maksymalnie największy typ śmigła do budowy konstrukcji ramy i mocy pojedynczego silnika.

W lotnictwie kierunek obrotu definiowany jest z perspektywy pilota siedzącego w kokpicie. Odnosząc się do podanego wcześniej punktu odniesienia, śmigło prawobieżne obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Nazywane często prawym, R-Regular lub ciągnącym. Wraz ze zmianą punktu obserwacji samolotu na czołowy obraca się w lewą stronę. W modelach wielosilnikowych zaczęto stosować śmigła lewobieżne (pchające), które zwiększały stabilność lotu[5].

W momencie pojawienia się maszyn latających wielowirnikowych (tj. hexakoptery, oktokoptery) obecne oznaczenia stały się problematyczne. W budowie dronów obecnie używa się innych oznaczeń. Śmigła obracające się zgodnie ze wskazówkami zegara określane są jako CW(ang. *Clockwise*), zaś obracające się w przeciwną stronę CCW (ang. *Counter Clockwise*) [3]. Ich obecność umożliwia lot drona. Zastosowanie wyłącznie jednego rodzaju śmigieł skutkowało obracaniem się maszyny w zależności od zainstalowanego śmigła.



Rys. 7. Śmigła: prawobieżne i lewobieżne [3]

SILNIKI



Rys. 8 Silnik BLDC wykorzystywany w multikopterach

Wybór śmigieł decyduje o doborze parametrów silnika. Śmigła sporych rozmiarów generują wystarczający ciąg przy dosyć niskich obrotach. Silnik powinien posiadać parametry, które umożliwią śmigłu uzyskanie jak największej sprawności podczas pracy. Najczęściej stosowanymi silnikami w statkach bezzałogowych to trójfazowe silniki BLDC (ang. *Brushless DC Motor*). Zwyczajowo należą do grupy silników prądu stałego. W rzeczywistości same zasilane są falą o przebiegu prostokątnym bądź przebiegiem impulsowym. Cechują się wysoką wydajnością. Wadą jest długość pracy łożyska, często nieprzekraczająca 60h. Po upływie tego czasu wzrasta prawdopodobieństwo uszkodzenia silnika. Ich przeznaczenie zależy od: stałej obrotowej KV – liczba obrotów na minutę na 1 V przyłożonego napięcia, mocy znamionowej silnika, liczby biegunów oraz ciągu statycznego.

Silniki dzielą się na dwa typy:

- outrunner z wirującą zewnętrzną częścią połączoną z wałem,
- inrunner z nieruchomą obudową.

W modelarstwie powszechnie używa się angielskie określenie obrotów na minutę RPM (ang. *Rate per meter*). Zasilając silnik 690KV akumulatorem Li – po 4S, ilość obrotów liczymy według zależności:

$$U_{1S} = 3,7V \quad (1)$$

$$U_{4S} = 4 \times 3,7 = 14,8V \quad (2)$$

$$V_{obr} = U_{4S} \times V_{690} = 14,8V \times 690 \frac{RPM}{V} = 10212 RPM \quad (3)$$

REGULATORY ESC

Elektroniczne regulatory ESC to urządzenia bezpośrednio sterujące pracą silnika podłączane między głównym zasilaniem, silnikiem i kontrolerem lotu.

Poniższy rysunek 9 przedstawia schemat połączeń regulatora z wbudowanym układem elektronicznym BEC. Realizując takie połączenie wymaga zastosowanie tylko dwóch przewodów oznaczonych symbolami PWM i GND. Z racji zamontowanego modułu eliminacji baterii przewód zasilający kontroler jest niepotrzebny.

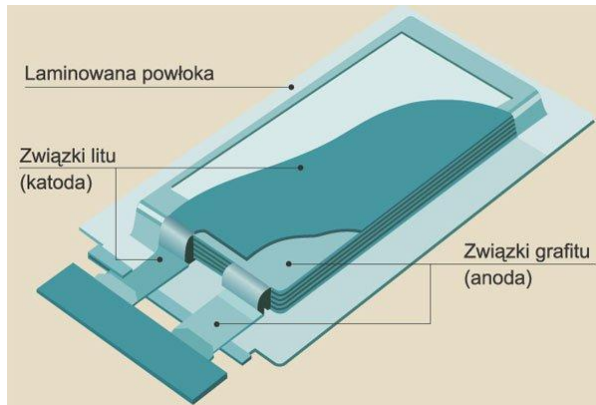


Rys. 9 Realizacja połączenia modułu ESC z wbudowanym BEC

Zadaniem modułu ESC jest przekształcenie prądu stałego w impulsy prądu zmiennego przesunięte w fazie, tak aby silnik zaczął się obracać. Im większe wypełnienie impulsów, tym większe obroty silnika. Każdy silnik potrzebuje osobnego układu regulacji. Wszystkie moduły ESC powinny posiadać identyczne parametry. Dobór odpowiedniego regulatora uzależniony jest między innymi od parametrów silnika. Głównie zależy to od wartości prądu pracy ciągłej (ang. *Working current*) i szczytowej (ang. *Max current*). Generalnie moduł ESC powinien posiadać większą wartość prądu ciągłego. W przeciwnym przypadku istnieje bardzo duże ryzyko uszkodzenia regulatora ze względu na większą moc silnika. Kolejnym ważnym kryterium doboru jest odpowiednia wartość napięcia zasilania. Moduły ESC posiadają różne zakresy napięć, w których działają poprawnie. Podłączając go do nieodpowiedniego akumulatora, spowodujemy jego uszkodzenie. Wybierając regulator do multikoptera, należy zwrócić uwagę na jego masę całkowitą.

AKUMULATORY LIPO

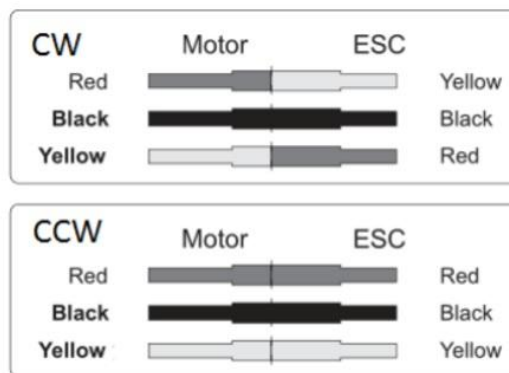
Obecnie na rynku najnowocześniejszymi akumulatorami są litowo-polimerowe. Powszechnie stosuje się je w modelarstwie RC. W projekcie sugerowano wytycznym takimi jak trwałość, pojemność, wydajność prądowa, napięcie znamionowe. Na dodatek nie posiadają tak zwanego *efektu pamięci*. Można je ładować w razie potrzeby. Jednak podczas użytkowania trzeba się z nimi ostrożnie obchodzić. Dotyczy to procesu ładowania i fizycznego użytkowania.



Rys. 10 Budowa akumulatora litowo – polimerowego [6]

KONFIGURACJA KIERUNKU OBROTÓW SILNIKÓW

W maszynach latających wielowirnikowych połowa silników obraca się w prawą stronę (CW – zgodnie ze wskazówkami zegara), druga połowa w lewą (CCW – przeciwnie do ruchu wskazówek zegara). Zasada ta podyktowana jest przez względy aerodynamiczne. Odmienne kierunki obrotów silników i śmigieł umożliwiają kontrolowanie lotu wielowirnikowca. W tego rodzaju silnikach bardzo łatwo można konfigurować kierunek obrotu. Zasilanie jest trójfazowe, zatem moduł ESC z silnikiem połączony jest trzema przewodami. Aby zamienić kierunek obrotu wirnika, należy zamienić miejscami dwa dowolne przewody łączące silnik z regulatorem prędkości obrotów.



Rys. 11 Schemat połączeń regulatora ESC z silnikiem dla obrotów prawych lub lewych [4]

WPLYW WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH NA DRONA

WIATR

Wiatr zawsze utrudnia precyzyjne sterowanie czy to samolotem, czy to wielowirnikowcem, sprawiając że maszyna będzie mimowolnie od operatora zmieniała swoją pozycję zgodnie z kierunkiem i siłą podmuchów. Zbyt gwałtowne powiewy wiatru mogą również spowodować liczne błędy czujnika barometrycznego, a co za tym idzie spowodować nieścisłości związane z odczytami z GPS i barometru, które są podawane do jednostki głównej autopilota. Zaburzenia te są możliwe do zmniejszenia za sprawą gąbki osłaniającej czujnik barometryczny.

CIŚNIENIE ATMOSFERYCZNE

Gwałtowne zmiany ciśnienia barometrycznego spowodowane np. dużą prędkością jednostajną wiatru bądź turbulencjami mechanicznymi, powodują zaburzenia w utrzymaniu stałej wysokości statku powietrznego.

BURZE SŁONECZNE

Wyrzut materii spowodowany rozbłyskiem na słońcu powodujący zakłócenia ziemskiego pola elektromagnetycznego. Zakłócenia te mają istotny wpływ na maszyny latające i powodują błędy systemów pomiarowych. Zdarzają się również przypadki gdzie zakłócenia ziemskiego pola magnetycznego spowodowały całkowite uszkodzenie układów nawigacyjnych statku powietrznego a w efekcie doprowadziły do katastrofy lotniczej. Z tego powodu oprócz sprawdzenia klasycznej prognozy pogody, warto na odpowiednich portalach odczytać poziom aktywności słońca.

OPADY DESZCZU ORAZ ŚNIEGU

Zarówno opady deszczu jak i śniegu mogą nieodwracalnie uszkodzić wszelkie elementy elektroniczne czy elektromechaniczne. Mimo że większość sprzętu elektrycznego posiada podwyższoną odporność na wilgoć, odradza się latania w czasie opadów deszczu i śniegu. Nawet minimalna wilgoć może

uszkodzić elementy nie tylko w czasie opadu ale również i w późniejszym okresie.

TEMPERATURA DODATNIA I UJEMNA

Elementy elektroniczne w tym również regulatory ESC, silniki oraz pakiety nie przepadają za wysokimi temperaturami. Latanie przy 25-30 stopniach Celsjusza może spowodować przegrzanie elementów (jeśli nie mają zapewnionego wystarczająco dobrego chłodzenia) O pracy w danym zakresie temperatur można przeczytać w specyfikacji produktu.

Niskie temperatury ujemne mogą mieć negatywny wpływ na pracę poszczególnych podzespołów, tym razem ze względu na różną rozszerzalność cieplną i właściwości mechaniczne materiałów z których zbudowane są podzespoły. Oprócz tego akumulatory LiPo przy ujemnych temperaturach mają znacznie pogorszone parametry oddawania prądu, co przekłada się na krótszy lot i mniejszą moc napędu.

CO NALEŻY WIEDZIEĆ PRZED WYKONANIEM LOTU DRONEM

Drony są niesamowitymi zabawkami. Mogą sprawić że u dorosłej osoby znowu obudzą się dziecinne instynkty. Mogą także wprowadzić ludzi w kłopoty. Oto kilka rzeczy, które każdy nowy właściciel drona powinien wiedzieć zanim przystąpi do lotu.

Latanie dronem powinno odbywać się tylko w zasięgu wzroku. Do przelotów na znaczne odległości wymagana jest kamera ze zdalną transmisją wizji oraz dodatkowe uprawnienia VLOS. To na jak daleko możemy kontrolować drona będzie zależeć od posiadanego sprzętu. W przypadku gotowych zestawów zasięg radiowy modelu zazwyczaj nie przekracza 200m. Profesjonalne układy zapewniają łączność radiową nawet na odległości 50 kilometrów.

Z kupna nowego drona na pewno będzie zadowolony właściciel, jednak tym entuzjazmem nie koniecznie muszą cieszyć się osoby postronne, dlatego należy unikać poruszania się dronem w gęsto zaludnionych dzielnicach mieszkaniowych. Aby zmniejszyć ryzyko ewentualnego wypadku jak i jego skutków należy także wystrzegać się lotów nad drogami, stadionami, szkołami. Ostatnim miejscem nad którym mógłby się znaleźć dron jest teren lotniska. Dlatego należy znaleźć szeroko otwarte pole, bez drzew, budynków, ludzi czy innych potencjalnych zagrożeń.

Po znalezieniu odpowiedniego, terenu trzeba wziąć pod uwagę warunki atmosferyczne. Należy latać przy spokojnym wietrze. Drony są zaprojektowane tak aby dało się odbywać loty nawet przy silnych podmuchach, jednak takie warunki przeznaczone są dla doświadczonych pilotów. Ponadto nie powinno się latać przy słabym świetle. Gdy jest ciemno, ciężko określić w jakiej orientacji znajduje się dron a także nie widać przestrzeni przed maszyną i można wpaść w ewentualne przeszkody terenowe.

Tak jak w przypadku wszystkich pojazdów mechanicznych, oczywistą rzeczą jest trzeźwość pilota. Oprócz alkoholu, przed lotem należy wystrzegać się spożywania substancji mających wpływ na aktywność psychomotoryczną człowieka jak na przykład silne leki czy kofeina.

Z CZEGO SKŁADA SIĘ SYSTEM ZDALNEGO STEROWANIA DRONEM

System radiowy jest najważniejszym interfejsem między pilotem, a urządzeniem. Umożliwia on sterowanie jak i ciągły kontakt z maszyną latającą. Układ realizowany jest dwutorowo, czyli nie tylko osoba kontrolująca na ziemi nadaje sygnały, które inercyjnie odczytuje odbiornik znajdujący się w dronie, ale także działa to w drugą stronę. System sterowania otrzymując pewne informacje, transmituje do pilota pakiety danych, na przykład odnośnie jakości sygnału, czy możliwych zakłóceń. Wszystkie te operacje realizowane są przy użyciu fal elektromagnetycznych. Układ zdalnego sterowania składa się z trzech podstawowych elementów: aparatury i nadajnika oraz odbiornika.

APARATURA

Aparatura jest urządzeniem w którym ruch drążków, trymerów, potencjometrów oraz przełączników wykonywanych przez człowieka w celu sterowania maszyną jest przetwarzany na sygnał elektryczny. Dalej jest on wysyłany przez nadajnik za pośrednictwem fal radiowych i odczytywany przez odbiornik, znajdujący się w dronie.

Pilot, w czasie sterowania dronem, korzysta z czterech powyższych wejść przekazując aparaturze aktualne informacje potrzebne do kontrolowanego lotu. Drążki i potencjometry są poddawane odpowiedniej kalibracji. Mikser sumuje wszystkie sygnały i przyporządkowuje każde wejście do żądanego wyjścia. Po przetworzeniu sygnały wejściowe są formowane i przesyłane do odpowiednich

kanałów wyjściowych. Dodatkowo, funkcją „limit” można ograniczyć zakres ich zmian. Następnie, sygnały są szyfrowane i wysyłane za pomocą nadajnika do odbiornika znajdującego się w dronie.



Rys. 12 Aparatura

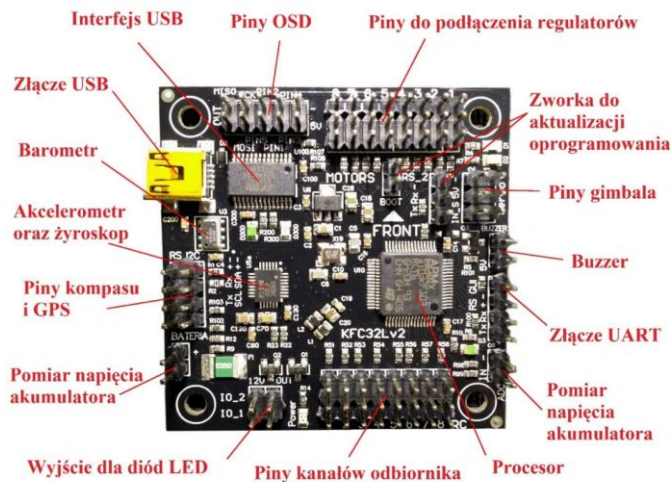
ODBIORNIK



Rys. 13 Odbiornik

Odbiornik otrzymuje informacje za pośrednictwem fal elektromagnetycznych od transmitera, a następnie przetwarza je na użyteczny sygnał elektryczny. Jego gabaryty oraz ilość kanałów jest zależna od platformy latającej, w której się znajduje. Miniaturowe, gdzie priorytetem jest jak najniższa waga są stosowane w mikro dronach o wielkości czasem nie przekraczającej rozmiarów monety pięciozłotowej. Takie odbiorniki, niestety, mają bardzo małą czułość, co wiąże się z krótkim zasięgiem systemu sterowania. W rozbudowanych konstrukcjach używane są już pełnowymiarowe urządzenia odbiorcze, zapewniające dużą sprawność. Dodatkowym atutem jest możliwość podłączenia sensorów, zbierających informacje, na przykład o aktualnej temperaturze silników, chwilowym poborze prądu czy wysokości, na jakiej znajduje się dron. Dane następnie są wysyłane do aparatury sterującej. Takie rozwiązanie znacznie ułatwia sterowanie maszynami latającymi. Jak widać, odbiornik może pełnić funkcję nadajnika, posiadając wbudowany transponder [1].

KONTROLER LOTU



Rys. 14 Budowa kontrolera lotu

Kontroler lotu to mózg multikoptera. Na niewielkiej płytce umieszczone są komponenty tworzące mini komputer. Aby lot drona był w ogóle możliwy, musi on być zaprogramowany przy użyciu skomplikowanych algorytmów. Procesor przetwarzający informacje korzysta z wielu wyspecjalizowanych czujników, aby

utrzymać maszynę w równowadze. Ich zadaniem jest wychwytywanie zdarzeń i zmian z otaczającego środowiska, rozpoznawanie oraz ich rejestrowanie. Aby zachować jak największą precyzję poruszania się, sensory próbują dane z częstotliwością od kilku razy na sekundę do nawet kilkuset tysięcy razy na sekundę. Przetwarzają one wielkości nieelektryczne na przykład: ciśnienie, temperaturę, siłę na proporcjonalną wielkość elektryczną, taką jak: napięcie, prąd elektryczny czy rezystancję. Postęp technologiczny sprawił, że czujniki przybierają coraz to mniejsze wymiary. Dzięki temu znajdują więcej zastosowań i mają mniejszy wpływ na to, co jest mierzone. W większości przypadków takie mikroczujniki osiągają znacznie lepszą prędkość oraz dokładność, niż ich gabarytowe odpowiedniki [2].

LITERATURA

- [1] Nadajnik i Odbiornik - podstawy wiedzy, abc-rc.pl, [zasoby z dnia 10 stycznia 2016r], http://abc-rc.pl/_cms/view/30/nadajnik-i-odbiornik-podstawy-wiedzy.html
- [2] Zjawiska wykorzystywane w czujnikach i nastawnikach urządzeń mechatronicznych, Akademia Morska w Gdyni, [zasoby z dnia 3.01 2016], http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/WYKLAD_VI.pdf
- [3] *Cała wiedza o śmigłach – podstawy wiedzy*, abc-rc.pl, [zasoby z dnia 04.12.2015], <http://abc-rc.pl/kompendium-smigla>
- [4] Q800 Hexacopter Frame Assembly Guide, unmannedtech.co.uk, [zasoby z dnia 18.12.15r.], <http://www.unmannedtech.co.uk/manuals/q800-hexacopter-frame-assembly-guide>
- [5] Jurkiew. B. N. *Aerodynamika Śmigieł i Śmigłowców*, tłumaczył Pilecki Sz., Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej 1959
- [6] Artykuł: *Akumulatory litowo-polimerowe, Li-po – kompendium wiedzy cz. 1* forbot.pl, [zasoby z dnia 13.12.2015]
- [7] <http://forbot.pl/blog/artykuly/podstawy/akumulatory-litowo-polimerowe-li-po-kompendium-id291>

POMIARY I ANALIZA CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH ZŁĄCZY P-N Z WĘGLIKA KRZEMU WYKONANYCH METODĄ IMPLANTACYJNĄ

WSTĘP

Rozwój techniczny, a w szczególności rozwój mikroelektroniki stale dąży do miniaturyzacji rozmiarów i maksymalizacji osiągnięć. Następstwem tego jest powstawanie coraz mniejszych podzespołów. Niestety, w dalszym ciągu ograniczają nas względy technologiczne (wytwarzanie struktur w skali mikro i nano), jak również i parametry materiałowe krzemu. Dlatego, ciągle poszukuje się i testuje nowe materiały mogące go zastąpić. Jednym z takich materiałów jest węgiel krzemu (SiC). Ze względu na koszty uzyskiwania i ograniczenia technologiczne wciąż jest zbyt drogim następcą krzemu, mimo że posiada lepsze właściwości elektryczne i fizyczne.

Powyższa praca skupiała się nad zbadaniem właściwości i parametrów złączy p-n z węgla krzemu politypu 4H-SiC, pod kątem zastosowania ich jako fotodiody dla zakresu ultrafioletu. Powyższa analiza pozwala ocenić, jakie wyniki osiągają diody zaprojektowane na Politechnice Lubelskiej wytworzone metodą implantacyjną.

WĘGLIK KRZEMU A KRZEM – WŁAŚCIWOŚCI I PORÓWNANIE

Węgiel krzemu to polimorficzny związek krzemu (Si) oraz węgla (C). Poznane zostało kilkaset różnych politypów i odmian tego związku. W literaturze oraz w pracach technologicznych najczęściej pojawiają się odmiany 3C-SiC (struktura kubiczna), 2H-SiC, 4H-SiC, 6H-SiC (struktury heksagonalne) oraz 15R-SiC (struktura romboidalna). Do dalszych porównań wskazany został polityp 4H-SiC, ponieważ z tej odmiany wytworzone zostały omawiane diody.

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników „SEMICON”

²Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych

W przypadku nowych materiałów niezwykle ważne jest, żeby jak najlepiej poznać ich właściwości fizyczne i elektryczne (przy zastosowaniu w elektryce i mikroelektronice). Wyróżnia się tutaj szereg parametrów, takich jak temperatura pracy, twardość, gęstość, przewodnictwo cieplne, stabilność termiczna, częstotliwość pracy, przerwa energetyczna i stała dielektryczna. W zależności od zastosowań, kluczowe mogą okazać się różne parametry np. zaraz po odkryciu SiC materiał ten stosowany był głównie jako materiał ścierny, ze względu na dużą twardość. Mimo, że materiał został odkryty już w 1824r. to dopiero w połowie zeszłego wieku skupiono się na jego właściwościach elektrycznych.

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie właściwości krzemu oraz węgla krzemu.

Tabela 1. Porównanie węgla krzemu politypu 4H-SiC z krzemem

Materiał	4H-SiC	Si
Przerwa zabroniona	3,2 eV	1,12eV
Koncentracja nośników samoistnych	$\sim 10^7 \text{ cm}^{-3}$	$\sim 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
Koncentracja nośników większościowych	$10^{13} \div 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	10^{19} cm^{-3}
Ruchliwość elektronów	$880 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$1350 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
Ruchliwość dziur	$120 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$490 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
Pole przebicia	$2,2 \cdot 10^6 \text{ V/cm}$	$3 \cdot 10^5 \text{ V/cm}$
Stała dielektryczna	9,7-9,8	11,8
Przewodność cieplna	$3,7 \text{ W/cm}\cdot\text{K}$	$1,5 \text{ W/cm}\cdot\text{K}$
Prędkość unoszenia	$2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$	$2,3 \cdot 10^5 \text{ m/s}$
Częstotliwość	$\sim 100 \text{ GHz}$	$\sim 5 \text{ GHz}$
Temperatura pracy	$\sim 600^\circ\text{C}$	$\sim 150^\circ\text{C}$
Stabilność termiczna	$\sim 2000^\circ\text{C}$	$\sim 1680^\circ\text{C}$
Twardość	9,2-9,3w skali Mohsa	7 w skali Mohsa
Gęstość	$3,211\text{-}3,217 \text{ g/cm}^3$	$2,329 \text{ g/cm}^3$

Najważniejszą cechą materiału dla elektroniki jest szerokość przerwy energetycznej. Materiały cechujące się dużą przerwą energetyczną mogą pracować przy wyższych napięciach i dużych mocach. Są one mniej podatne na zakłócenia, przebicia oraz posiadają niższe prądy wsteczne (w przypadku

złączy p-n). Węglik krzemu posiada prawie trzykrotnie szerszą przerwę zabronioną niż krzem, co w przypadku materiału półprzewodnikowego dla mikroelektroniki jest ogromną zaletą.

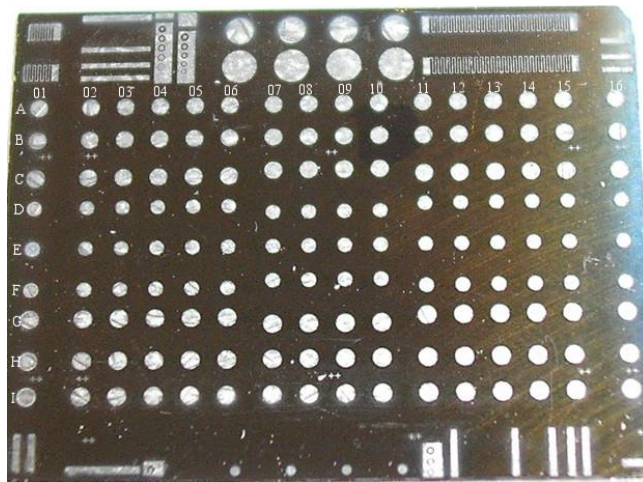
Kolejną ważną cechą jest krytyczne pole przebicia. Węglik krzemu ma prawie o rząd wielkości większe pole krytyczne niż krzem. W rezultacie krzem ulegnie zniszczeniu przy niższym napięciu niż krzem. SiC jest więc w konsekwencji znacznie wytrzymalszy jeśli chodzi o napięcie niż krzem.

Zaraz po wspomnianych wyżej parametrach elektrycznych jedną z najważniejszych właściwości dla elektroniki jest częstotliwość pracy. Również w tym przypadku węglik krzemu pokonuje rywala – SiC może pracować w częstotliwościach nawet dwudziestokrotnie większych niż Si.

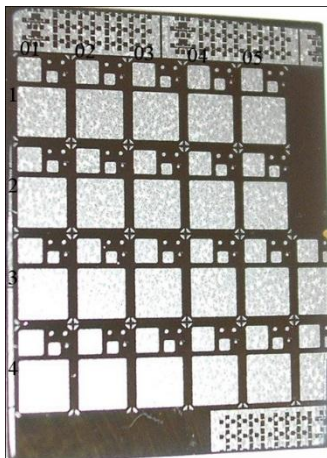
Podobnie jak w przypadku właściwości elektrycznych, węglik krzemu posiada zdecydowanie lepsze właściwości fizyczne. Około czterokrotnie wyższa temperatura pracy, wyższa stabilność termiczna (temperatura, w której występuje sublimacja), bardzo duża twardość (9,2–9,3 w skali Mohsa, twardość diamentu w tej skali wynosi 10), a także lepsza przewodność cieplna sprawiają, że węglik krzemu łatwiej odprowadza ciepło, może pracować w wyższych temperaturach oraz w „trudniejszych” warunkach.

FOTODIODY UV Z WĘGLIKA KRZEMU 4H-SiC

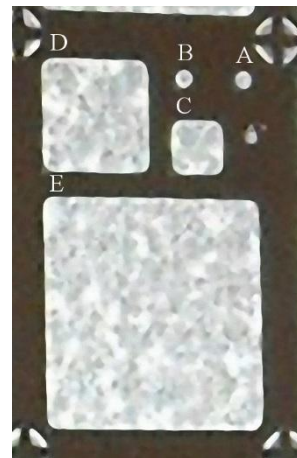
Złącza omawiane w niniejszej pracy to eksperymentalne diody wykonane z węglika krzemu politypu 4H-SiC metodą implantacyjną. Podstawowym problemem było stwierdzenie, czy takie struktury nadają się do wykorzystania jako fotodiody. Poddane analizie diody zostały wykonane w dwóch seriach – w pierwszej występowały jedynie diody okrągłe o średnicy 400 μ m oraz 500 μ m (rys. 2). Druga seria były to dwie diody o średnicy 100 μ m, a także trzy diody kwadratowe o długościach boku kolejno 194 μ m, 440 μ m i 940 μ m (rys. 3–4).



Rys. 2. Maska struktur serii NK_D1



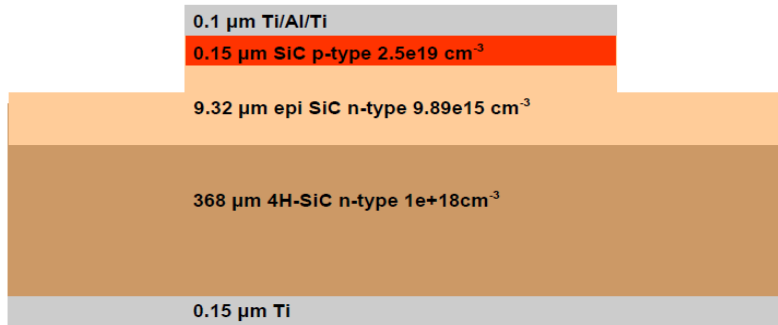
Rys. 3. Maska struktur serii NK_D2



Rys. 4. Powiększenie grupy diod serii NK_D2

Do wytworzenia fotodiod UV niezbędny było przeprowadzenie szeregu czynności technologicznych. Pierwszym etapem było przeprowadzenie implantacji jonami glinu przez okna wykonane w warstwie dwutlenku krzemu o grubości $1\mu\text{m}$, przy jednoczesnym podgrzewaniu płytki węgla krzemu do temperatury 500°C . Poziom domieszkowania powstałej w ten sposób warstwy typu p o grubości $0,15\mu\text{m}$ był rzędu $2,5 \cdot 10^{19}\text{ cm}^{-3}$. Następnie płytkę wygrzewano w temperaturze 1600°C przez 20 minut celem aktywacji domieszki.

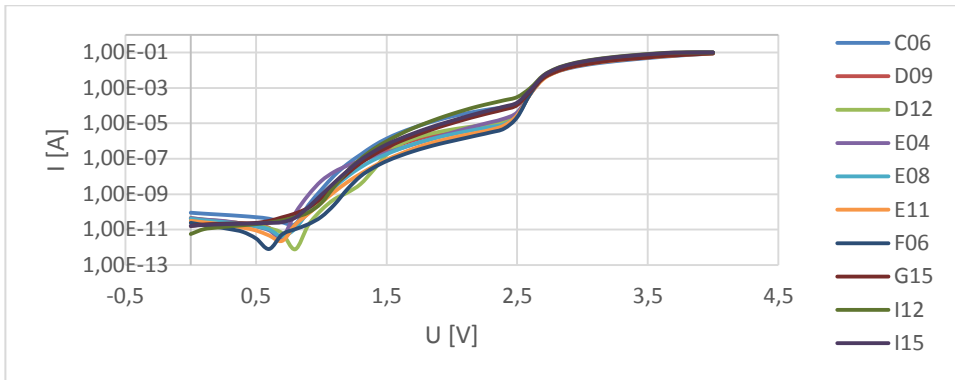
Kolejnym etapem było naniesienie kontaktów (za pomocą metody fotolitografii i odrywania tzw. „lift-off”): 0,15 μm warstwy tytanu (Ti) od strony katody oraz 0,1 μm warstwy tytanu na aluminium na tytan (Ti/Al/Ti) od strony anody. Całość została wygrzana w temperaturze 1050°C w atmosferze argonu (Ar) przez czas 5 minut. Na końcu usunięto całą warstwę SiO₂.



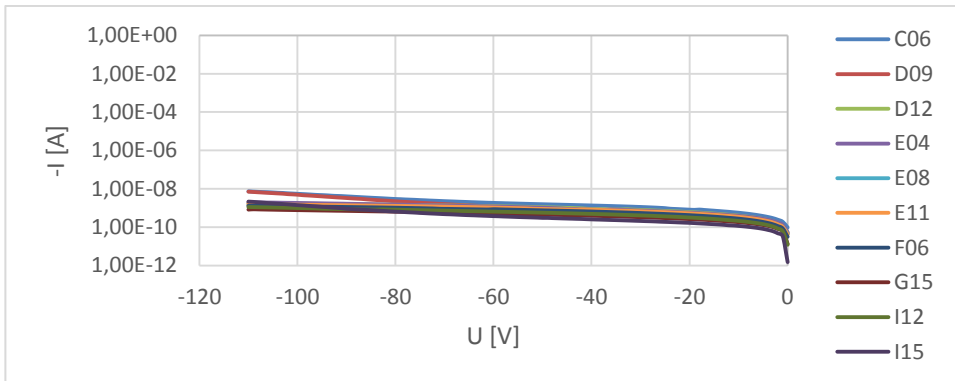
Rys. 5. Przekrój wytworzonych struktur p-i-n

Podczas analizowania struktur jedną z najważniejszych rzeczy, było sprawdzenie czy charakterystyka I(U) złącza posiada charakter diodowy. Idealna dioda powinna mieć zerowy prąd aż do przekroczenia napięcia progowego – prąd powinien wtedy bardzo szybko osiągnąć maksymalną wartość (nieskończenie szybko). W rzeczywistych strukturach tak szybkie narastanie nie jest możliwe. W skali półlogarytmicznej widoczne jest pierwsze podbicie charakterystyki jeszcze przed napięciem progowym (rys. 7). Efekt taki występował w większości struktur, co stanowi zasadniczy problem przy wytwarzaniu tych struktur.

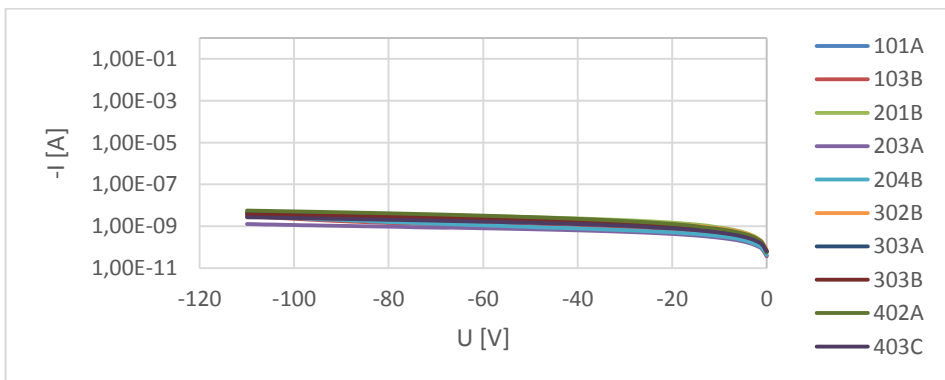
Najważniejszym kryterium jednak była wartość prądu ciemnego, czyli prądu przy polaryzacji zaporowej. Wartość ta świadczy o jakości i czułości urządzenia – im niższy prąd zaporowy, tym większa jest czułość fotodiody. Zmiany są rejestrowane jedynie powyżej wartości prądu ciemnego. Założono, że złącza będą pracować przy napięciu zasilającym -5V (rys. 8–9).



Rys. 7. Zestawienie charakterystyk półlogarytmicznych w kierunku przewodzenia NK_DI



Rys. 8. Zestawienie charakterystyk półlogarytmicznych w kierunku zaporowym struktur NK_DI



Rys. 9. Zestawienie charakterystyk półlogarytmicznych w kierunku zaporowym struktur NK_D2

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Węglik krzemu to bardzo obiecujący materiał, który w przyszłości może okazać się bardzo ważny dla mikroelektroniki. Posiada zdecydowanie lepsze parametry niż stosowany obecnie krzem, a technologia jego wytwarzania jest stale ulepszana i dopracowywana. Można stwierdzić, że jest on bardzo dobrym kompromisem pomiędzy łatwym w otrzymaniu krzemem a diamentem o zdecydowanie lepszych właściwościach.

Diody wykonane z węglika krzemu politypu 4H-SiC metodą implantacyjną osiągają w większości dobre lub bardzo dobre wyniki. Przeprowadzona analiza struktur z węglika krzemu miała na celu zbadanie ich pod kątem wykorzystania jako fotodiody UV. Diody te, mimo że są to złącza eksperymentalne wykonane w próbnym procesie technologicznym, osiągały bardzo dobre wyniki. Złącza te posiadały charakter diodowy oraz bardzo dużą czułość.

W całym procesie miało miejsce wystąpienie kilku złączy, które albo nie posiadały charakteru diodowego, albo osiągały prądy ciemne w granicach 10^{-4} – 10^{-5} A. Powodem tego mogło być zabrudzenie podczas transportu pomiędzy poszczególnymi procesami, ponieważ do ich wytworzenia wykorzystano 4 instytucje w Warszawie i Lublinie. Ujednoczenie procesu technologicznego może znacząco zmniejszyć lub nawet wyeliminować ten problem.

LITERATURA

- [1] Barlik R., i inni, „Przyrządy półprzewodnikowe z węglika krzemu (SiC) i ich zastosowanie w energoelektronice”, Przegląd Elektroniczny, Nr 11/2006, s. 1–8
- [2] Daulton T.L., i inni, „Polytype distribution of circumstellar silicon carbide: Microstructural characterization by transmission electron microscopy”, Geochimica et Cosmochimica Acta, Nr 67/2003, s. 4743–4767
- [3] Góra P.K., „Reaktywne trawienie jonowe węglika krzemu SiC”, Elektronika, Nr 1/2008, s. 25–28
- [4] Jeleński A., „Półprzewodniki szerokoprzerwowe dla elektroniki i fotoniki”, Elektronika, Nr 11/2005, s. 19–24
- [5] Jezior K., „Pomiary i analiza charakterystyk prądowo-napięciowych złączy p-n z węglika krzemu wykonanych metodą implantacyjną”, Lublin, 2016
- [6] Kościewicz K., i inni, „SiC – materiał dla elektroniki”, Elektronika, nr 9/2006, s. 22–27
- [7] Michalski A., Zymmer K., „Badania właściwości przyrządów energoelektronicznych z węglika krzemu (SiC) w warunkach komutacji prądu z wysoką częstotliwością”, Prace Instytutu Elektrotechniki, nr 243/2009

- [8] Muzyka K., „*Pomiary i analiza charakterystyk prądowo-napięciowych złącz p-n z węgliku krzemu wykonanych metodą epitaksjalną*”, Lublin, 2015
- [9] Shields V.B., “*Applications of Silicon Carbide for High Temperature Electronics and Sensors*”, NASA Jet Propulsion Laboratory, Tech Briefs 0145-319X, 1995
- [10] Szmidt J., „*Węglik krzemu i jego zastosowania w elektronice wielkich częstotliwości, dużych mocy i wysokich temperatur*”, Elektronika, nr 9/2006
- [11] Tsao J.Y., „*A Guidebook to the Core Science and Technology*”, World of Compound Semiconductors, Albuquerque 2014

TECHNOLOGIA MIKROGRZEJNIKA Z NiCr DO LOKALNEGO OGRZEWANIA PRÓBKI CIECZY O NANOLITROWEJ OBJĘTOŚCI

WSTĘP

W ostatnich latach liczba zastosowań mikrogrzejników dla urządzeń MEMS znacząco wzrosła ze względu na ich kluczową rolę w biochemicznych aplikacjach mikrofluidycznych, ale także w czujnikach wiatru, wilgotności oraz gazów. Głównymi zaletami mikrogrzejników stosowanych w układach MEMS, które emitują ciepło na skutek przepływu prądu, jest niski pobór mocy oraz krótki czas odpowiedzi. Do tej pory przeprowadzono badania mikrogrzejników wykorzystujących węgiel krzemu (SiC), platynę (Pt), polikrzem, krzem monokrystaliczny, azotek tytanu (TiN), tytan (Ti) oraz pastę rezystywną jako warstwę grzejną [10-13].

Lokalne ogrzewanie próbki cieczy jest stosowane w wieloparametrycznych czujnikach kapilarnych do klasyfikacji cieczy. Realizowane jest ono poprzez grzejnik planarny. Jest to najważniejszy element w układzie, od którego zależy poprawność działania sensora. Analiza układu lokalnego ogrzewania próbki jest istotna ze względu na możliwość interpretacji wyników otrzymywanych z cykli pomiarowych oraz zakres możliwych do zbadania cieczy [11, 13].

W niniejszej pracy zaprezentowano mikrogrzejnik z NiCr, który został zaprojektowany i wykonany w Instytucie Elektroniki i Technik Informatycznych na Politechnice Lubelskiej. Został on zrealizowany w ramach modernizacji dedykowanego stanowiska do badań parametrów i klasyfikacji cieczy biologicznych oraz biopaliw. Dotychczas stosowanymi mikrogrzejnikami były grzejniki planarne na podłożu ceramicznym, w których warstwą grzejną były: pasta przewodząca, tytan oraz węgiel krzemu [3, 4, 11]. Jednak ze względu na

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników „SEMICON”

²Instytut Technologii Elektronowej w Warszawie, Zakład Projektowania Układów Scalonych i Systemów

³Politechnika Lubelska, Instytut Elektroniki i Technik Informatycznych

⁴Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki

złożoność procesu i wysoki koszt wytwarzania obecnie stosowanego mikrogrzejnika z węgliku krzemu, podjęto próbę stworzenia urządzenia o podobnych parametrach przy znacznie niższych kosztach produkcji.

Badania termiczne i elektryczne zostały przeprowadzone na Politechnice Warszawskiej. Temperatury osiągnęte przez mikrogrzejnik zarejestrowano za pomocą kamery termowizyjnej NEC R300. Otrzymane wyniki poddano analizie pod kątem zastosowania i użyteczności grzejnika w układzie lokalnego ogrzewania próbki cieczy o nanolitrowej objętości w wieloparametrycznym czujniku kapilarnym.

WIELOPARAMETRYCZNY CZUJNIK KAPILARNY

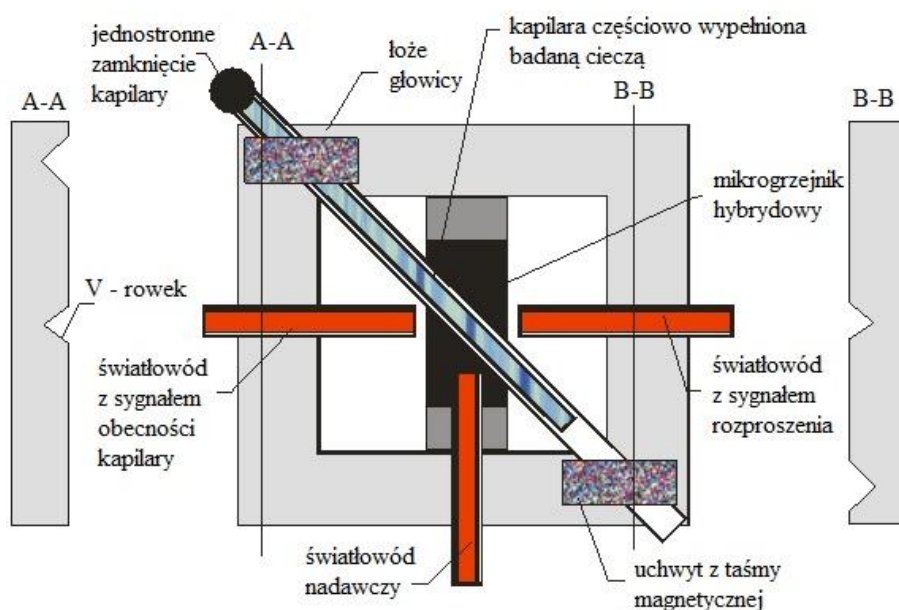
Mikrosystemy wykorzystujące włókna światłowodowe w urządzeniach sensorycznych są obecnie szeroko stosowane do badań cieczy w przemyśle chemicznym i biochemicznym. Jednym z czujników optoelektronicznych, należącym do danej podklasy urządzeń jest kapilarny czujnik światłowodowy, który zapewnia dokładną kontrolę nad objętością i ruchem cieczy. Takie urządzenia znajdują zastosowanie w wielu mikrofluidycznych metodach pomiaru w biotechnologii oraz w diagnostyce medycznej [1, 2].

Przykładowym wieloparametrycznym czujnikiem kapilarnym jest czujnik służący do badań biopaliw do silników Diesla oraz biologicznych cieczy nieprzeźroczystych (np. mleko). Konstrukcja czujnika została opracowana w Instytucie Mikroelektroniki i Optoelektroniki Politechniki Warszawskiej przy współpracy z Instytutem Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Lubelskiej. Czujnik składa się ze źródła światła – diody LED, nadawczych i odbiorczych włókien światłowodowych, światłowodu kapilarnego, kapilary, głowicy, jednostki fotodetekcyjnej oraz systemu zbierania danych.

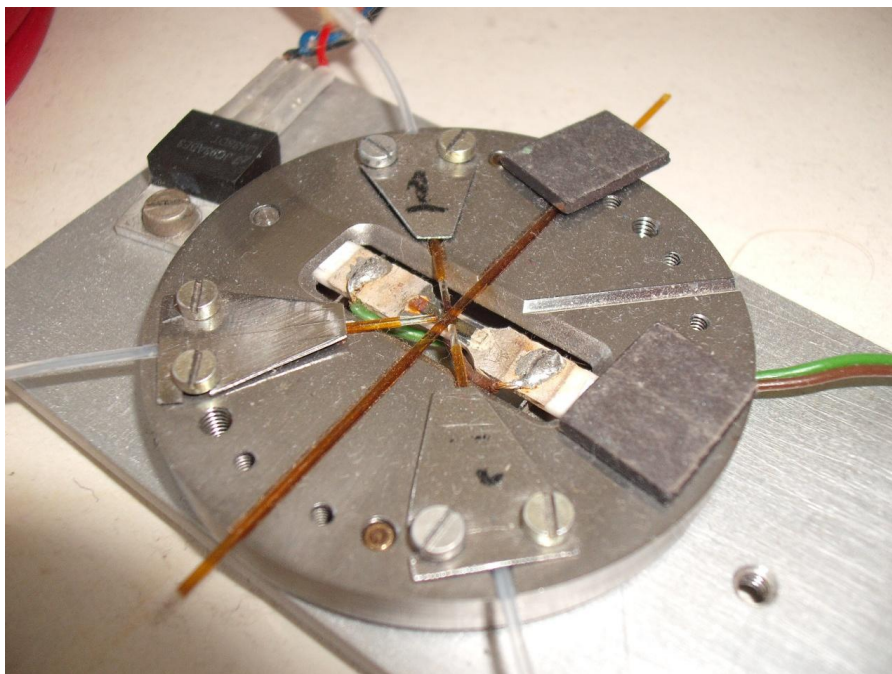
Budowa i zasada działania głowicy zostanie omówiona na przykładzie dedykowanej głowicy do klasyfikacji nieprzeźroczystych cieczy biologicznych. Schemat konstrukcji przedstawiono na rysunku 1.

Głowica czujnika wykonana jest ze stali magnetycznej i służy do zintegrowania mikrogrzejnika i elementów optycznych - światłowodów oraz kapilary. Mikrogrzejnik zamocowany jest w otworze wyciętym w środkowej części łoża. Kapilara jest wymienną częścią głowicy. Światłowody oraz kapilara są pozycjonowane w specjalnych rowkach w kształcie litery V. Kapilara dodatkowo przymocowana jest taśmą magnetyczną. Światłowód nadawczy i odbiorcze są zamocowane na stałe do uchwyty w prowadnicach w taki sposób,

aby osie włókien znajdowały się w jednej płaszczyźnie z kapilarą. Przed przystąpieniem do pomiarów, kapilara częściowo jest wypełniana badaną cieczą, a jeden z jej końców zostaje zamknięty. Mikrogrzejnik umieszczony pod kapilarą wymusza parowanie cieczy i jej przepływ. Ten fragment stale jest oświetlany światłowodem nadawczym i monitorowane są zmiany rozproszeniowe sygnału świetlnego przez światłowód z sygnałem rozproszenia oraz światłowód z sygnałem odbicia od kapilary. W momencie powstania fazy gazowej w miejscu ogrzewania, wyłączane jest zasilanie mikrogrzejnika. Moc sygnału rozproszonego zależy od parametrów i stanu badanej próbki. Pomiar kończy się w momencie wchłonięcia się bąbla par własnych. Dane pomiarowe są zapisywane przez system akwizycji danych co 0,1 sekundy przez 60 sekund podczas jednego cyklu pomiarowego [1, 3-9, 13-15]. Fizycznie wykonana głowica czujnika przedstawiona została na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat głowicy czujnika do klasyfikacji nieprzeźroczystych cieczy biologicznych [14]



Rys. 2. Głowica czujnika do klasyfikacji parametrów biopaliw [13]

ISTOTA UKŁADU LOKALNEGO OGRZEWANIA PRÓBKİ CIECZY

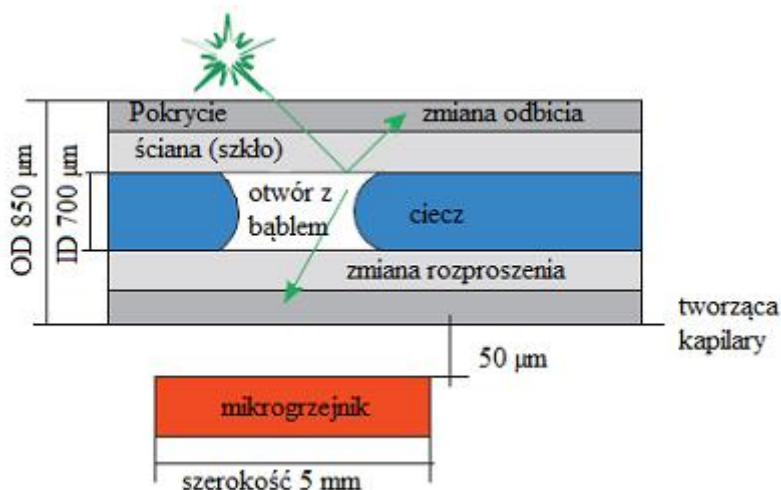
Wieloparametryczna ocena parametrów cieczy biologicznych jest istotnym zagadnieniem badawczym. Na podstawie pozyskanych informacji możliwa jest klasyfikacja stanu organizmu, z którego pochodzi dana próbka. Przykładem może być możliwość stwierdzenia stanu zapalnego gruczołów mlecznych u bydła na podstawie badań mleka. Metoda klasyfikacji cieczy, polega na cyklicznym lokalnym ogrzewaniu fragmentu kapilary optycznej ze znajdującą się w niej próbką cieczy, wykorzystując grzejnik rezystancyjny. Schemat układu ogrzewania przedstawiono na rysunku 3 [11].

Analiza lokalnego ogrzewania próbki jest ważna ze względu na [11]:

- możliwość interpretacji wyników uzyskiwanych z cykli pomiarowych;
- określenie zakresu możliwych do zbadania cieczy;
- możliwość optymalizacji konstrukcji głowicy.

Istotnym problemem jest odległość mikrogrzejnika od kapilary. Odległość ma bezpośredni wpływ na szybkość ogrzewania cieczy. Układ często zostaje modyfikowany poprzez wymianę kapilary lub grzejnika. Aby zapewnić

powtarzalność, grzejnik musi posiadać ściśle określony wymiary i zostać umieszczony w specjalnym łożu na głowicy. Powtarzalność jest bardzo ważna w późniejszej analizie wyników [11].

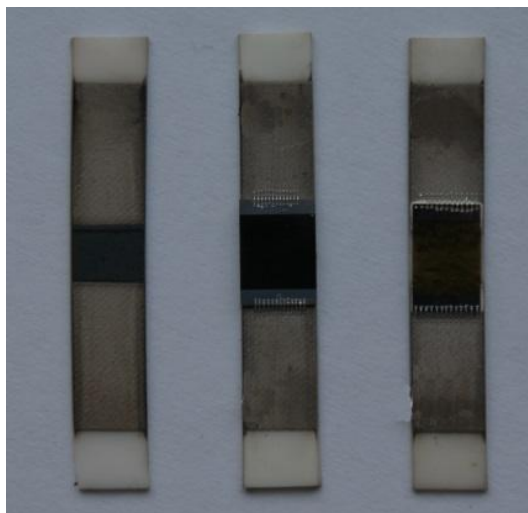


Rys. 3. Schemat lokalnego ogrzewania próbki [11]

DOTYCHCZASOWE ROZWIĄZANIA MIKROGRZEJNIKÓW

Dotychczas badanymi mikrogrzejnikami stosowanymi w wieloparametrycznym czujniku kapilarnym były hybrydowe grzejniki planarne, których warstwami grzejnymi były rezystory grubowarstwowe, cienkowarstwowe oraz objętościowe (rys. 4). Podstawą grzejników była płytk ceramiczna o wymiarach 30 mm × 5 mm × 635 μm [11]. Warstwa grzejna grzejnika grubowarstwowego została wykonana z pasty rezystywnej. Element nagrzewał się do temperatury 300°C już przy mocy 5 W, jednak wadą tego grzejnika było przepalanie się środkowej części elementu grzejnego przy wysokich temperaturach.

Grzejnik cienkowarstwowy, którego warstwa grzejna była warstwą tytanu naniesioną na utlenione podłoże krzemowe, posiadał wadę konstrukcyjną, wynikającą z przymocowania elementu grzejnego za pomocą kleju przewodzącego, co skutkowało przepływem prądu przez klej, zamiast przez element grzejny.



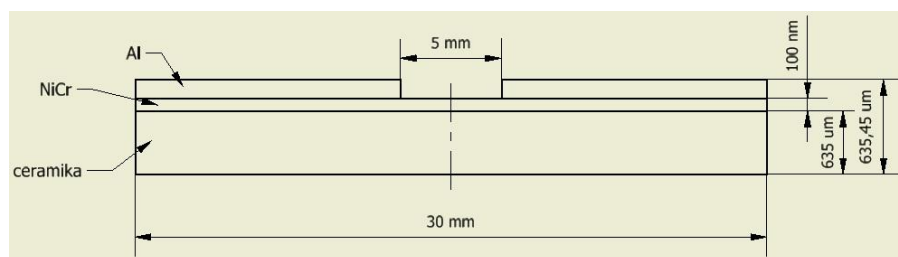
Rys. 4. Grzejniki planarne: (od lewej) grubowarstwowy, cienkowarstwowy, objętościowy [11]

Element grzejny grzejnika objętościowego to domieszkowany węgiel krzemu. Grzejnik charakteryzował się wysoką wytrzymałością i jednorodnym rozkładem temperatury na swojej powierzchni. Temperaturę bliską 300°C osiągał przy mocy 7 W. Wadą tego grzejnika jest skomplikowany i drogi proces produkcji. Mimo to, jest on obecnie stosowanym grzejnikiem w czujniku kapilarnym [11].

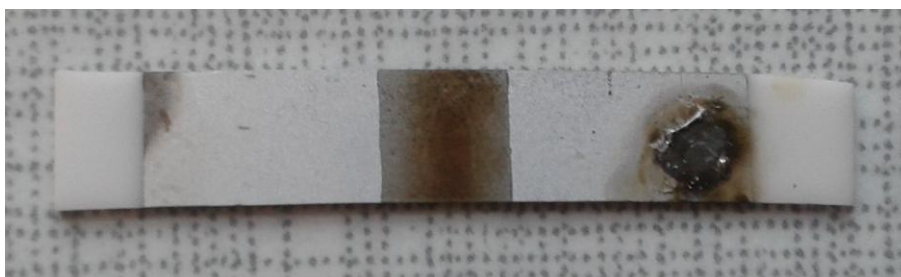
Aby połączyć zalety wyżej wymienionych grzejników, podjęto próbę skonstruowania mikrogrzejnika z warstwą grzejną, którą jest warstwa chromonikieliny. Proces wykonania jest bardzo łatwy, krótki i tani, a parametry zbliżone do grzejnika wykorzystującego węgiel krzemu.

TECHNOLOGIA MIKROGRZEJNIKA Z NiCr

Mikrogrzejnik przedstawiony na rysunku 6, wykonany został na podłożu z ceramiki alundowej o wymiarach $30\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 635\text{ }\mu\text{m}$. Płytkę została oczyszczona w wodzie królewskiej. Warstwę grzejną o wymiarach planarnych $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ wykonano napyłając na ceramikę warstwę chromonikieliny (NiCr) o grubości 100 nm (rys. 5). Zastępując element aktywny, pola kontaktowe utworzono poprzez napylenie na uprzednio nałożoną chromonikielinę warstwy aluminium ($\sim 350\text{ nm}$). Do procesu napylenia użyto napyłarki NANO 36 będącej na wyposażeniu Politechniki Lubelskiej.



Rys. 5. Schemat mikrogrzejnika z NiCr



Rys. 6. Mikrogrzejnik z NiCr

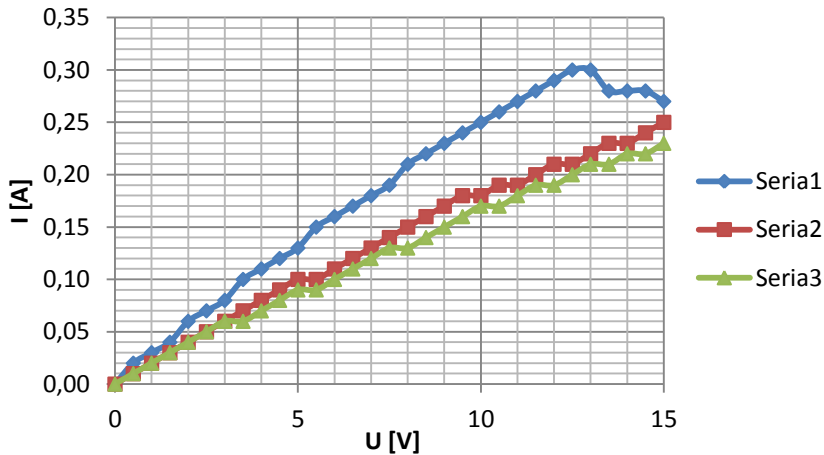
POMIARY I ANALIZA WYNIKÓW

Do pomiarów grzejnika wykorzystano zasilacz DF1731SB5A, z którego odczytywane były wartości prądu przepływającego przez grzejnik. Podczas pomiaru sterowano wartością napięcia, a temperatury osiągane przez badany element rejestrowane były przy użyciu kamery termowizyjnej NEC R300 oraz oprogramowania InfReC Analyzer. Mikrogrzejnik został przebadany w zakresie napięć 0–15 V z krokiem co 0,5 V (rys. 7).

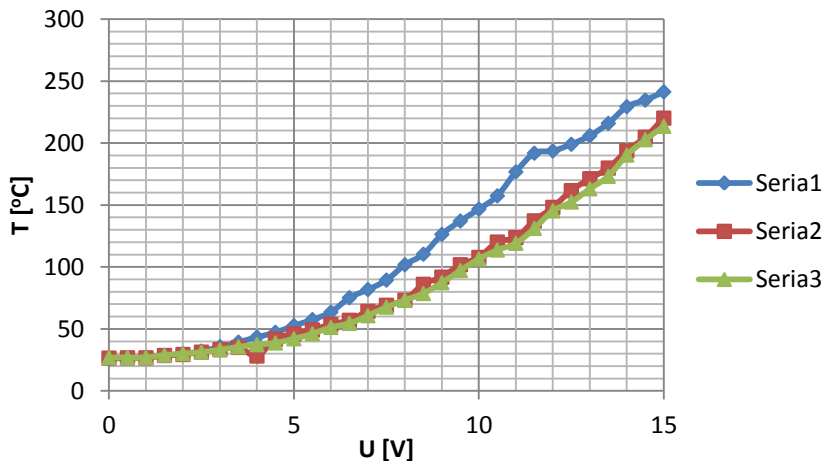
Podczas pierwszej serii pomiarów zaobserwowano znaczący wzrost rezystancji grzejnika po zakończeniu cyklu ogrzewania. Od początkowych 34,5 Ω wzrosła ona do 55 Ω , co jest prawdopodobnie związane z utlenianiem się warstwy grzewczej. W kolejnej serii wzrost ten wyniósł z 54,8 Ω do 55,85 Ω , a w trzeciej od 59,88 Ω do 60,30 Ω . Trzecia seria pomiarów została przeprowadzona po ochłodzeniu grzejnika, który w poprzedniej serii był podgrzewany przez 30 minut – grzejnik zachował stabilność, a temperatury osiągane na jego powierzchni były zbliżone w obu seriach (rys. 8).

Podczas kolejnych prób obserwowany jest wzrost rezystancji w ciągu pierwszych 60 sekundach grzania. Następnie nie ulega ona większym zmianom i jest stabilna podczas długich czasów grzania (rys. 9).

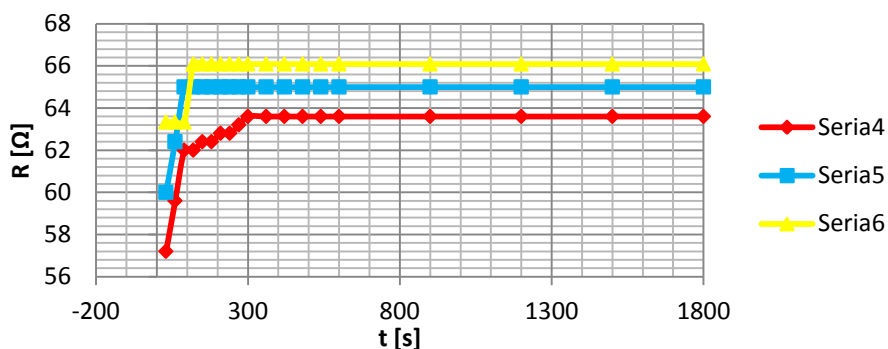
Podczas pomiarów wykonano szereg zdjęć kamerą termowizyjną, które ukazują rozkład temperatur na powierzchni mikrogrzejnika. Można zauważyć, że cała powierzchnia warstwy grzejnej ma podobną temperaturę, jednak najwyższa osiągnięta jest w jej centrum (rys. 10).



Rys. 7. Zależność prądu płynącego przez grzejnik od napięcia



Rys. 8. Temperatura emitowana przez grzejnik w zależności od napięcia



Rys. 9. Zależność rezystancji grzejnika w funkcji czasu



Rys. 10. Typowy rozkład temperatury na mikrogrzejniku z NiCr

PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki udowadniają, że grzejnik wykonany z chromonikieliny spełnia podstawowe wymagania kwalifikujące go do pracy w układzie lokalnego ogrzewania próbki cieczy o nanolitrowej objętości. Przy zasilaniu 15 V grzejnik osiąga temperatury sięgające 240°C. Urządzenie wykazuje stabilność podczas długich czasów grzania. Wzrost rezystancji jest prawdopodobnie spowodowany utlenianiem się warstwy grzejnej i w kolejnym rzucie produkcyjnym, w celu jego zapobiegnięcia zostanie dodana warstwa pasywacyjna z azotku krzemu. Pola kontaktowe zostaną wykonane z miedzi, ponieważ realizacja połączeń do aluminium okazała się problematyczna.

LITERATURA

- [1] Borecki M. et al., *Optoelectronic Capillary Sensors in Microfluidic and Point-of-Care Instrumentation*, Sensors Vol. 10, 2010, 3771–3797
- [2] Borecki M., Korwin-Pawłowski M. L., Beblowska M., *Capillaries as optical fibers in sensing device applications*, Proceedings of the Symposium on Photonics Technologies for 7th Framework Program, 2006, 454–462
- [3] Borecki M. et al., *Zagadnienia klasyfikacji biopaliw – głowica hybrydowa współpracująca z optrodami kapilarnymi*, Elektronika 9, 2011, 56–59
- [4] Borecki M. et al., *Sensing Method and Fiber Optic Capillary Sensor for Testing the Quality of Biodiesel Fuel*, IARIA Proc. Sensordevices, 2013, 19–24
- [5] Borecki M. et al., *A method of testing the quality of milk using optical capillaries*, Photonics Letters of Poland 1, 2009, 37–39
- [6] Borecki M. et al., *Large-area transparent in visible range silicon carbide photodiode*, Proc. of SPIE 8903, 2013, 89090H 1–9
- [7] Borecki M. et al., *Wieloparametryczna klasyfikacja właściwości użytkowych biopaliw ciekłych – głowica współpracująca z optrodami kapilarnymi*, Elektronika 9, 2012, 57–60
- [8] Duk M. et al., *Moduły elektroniczne do integracji mikrocieczowego czujnika kapilarnego*, Zeszyty Naukowe Wydziału ETI Politechniki Gdańskiej Seria: Technologie Informacyjne 8, 2010, 1–4.
- [9] Duk M. et al., *Optoelektroniczny interfejs nowej generacji dla światłowodowych czujników mikrocieczowych*, Elektronika 6, 2010, 102–104
- [10] Hwang W.-J. et al., *Development of Micro-Heaters with Optimized Temperature Compensation Design for Gas Sensors*, Sensors, 2011, 2580–2591
- [11] Kociubiński A. et al., *Analiza układu lokalnego ogrzewania próbki cieczy o nanolitrowej objętości w wieloparametrycznych czujnikach kapilarnych*, Elektronika 9, 2012, 91–94
- [12] Gęca M., Kociubiński A., Borecki M., *Analysis of local heating of liquid samples in multiparametric capillary sensors*, Proc. of SPIE Vol. 9290, 2014
- [13] Gęca M., Borecki M., Korwin-Pawłowski M. L., Kociubiński A., *Local liquid sample heating - integration and isolation of a micro-heater*, Proc. of SPIE Vol. 9662, 2015
- [14] Borecki M. et al., *Inteligentny czujnik parametrów cieczy biologicznych z wymienną kapilarą optyczną*, XII Konferencja Światłowodowy i ich zastosowania, Krasnobród, Polska, 2009
- [15] Prus P., Borecki M., Korwin-Pawłowski M. L., Kociubiński A., Duk M., *Automatic detection of characteristic points and form of optical signals in multiparametric capillary sensors*, Proc. of SPIE, Vol. 9290, 2014, 929009–1

STACJA POGODOWA – BADANIA TERENOWE PRZYSTOSOWUJĄCE INSTALACJĘ DO PRACY LABORATORYJNEJ

WSTĘP

W dobie innowacji oraz zwiększonej świadomości ekologicznej większy nacisk kładzie się na pozyskiwanie energii z OZE. Unia Europejska narzuca na kraje członkowskie limity dotyczące emisji dwutlenku węgla do atmosfery i w związku z tym faktem pozyskiwanie energii z źródeł konwencjonalnych takich jak np. węgiel kamienny staje się coraz mniej opłacalne. Dyrektywy unijne narzucają Polsce aby energia z OZE w roku 2020 osiągnęła 20% pozyskiwanej energii w skali kraju. Dlatego monitorowanie wielkości pogodowych – powiązanych z przewidywaniami wykorzystania potencjału odnawialnych źródeł staje się jeszcze ważniejsze. Pomiar wielkości pogodowych są także jednym z głównych czynników wpływających na umiejscowienie farm słonecznych, czy wiatrowych [11]. Planując inwestycje w dziedzinie OZE konieczne jest wykonanie planów zagospodarowania przestrzennego, stworzenie precyzyjnych modeli pogodowych, z których można wnioskować opłacalność inwestycji, czy efektywność pracy instalacji. W tym celu w laboratorium Instytutu Elektrotechniki i Elektrotechnologii powstaje stanowisko laboratoryjne. Umożliwi ono badanie warunków atmosferycznych w skali lokalnej, a analiza przeprowadzonych pomiarów umożliwi studentom wnioskowanie zasadności inwestycji OZE w badanym miejscu.

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

Rozwój cywilizacyjny związany jest ze zwiększeniem zużycia energii elektrycznej na jednostkę społeczeństwa oraz czasu. Związany jest z tym fakt

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektroekologów „ELEMCOŁ”

² Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii

doskonalenia metod zamiany energii na energię elektryczną, ciepłą, czy mechaniczną [1].

W energetyce konwencjonalnej wykorzystuje się paliwa stałe (węgiel kamienny, brunatny oraz torf), paliwa płynne (ropę naftową, olej opałowy), paliwa gazowe, oraz paliwa nuklearne (uran). Do ich zalet można zaliczyć niski koszt, opatentowaną technologię, czy dużą skumulowaną energię w jednostce masy czy objętości.

Pojęcie odnawialne źródła energii obejmuje szeroki zakres źródeł samoodnawiających się takich jak; wiatr, energia słoneczna, przepływ wody, biomasa, ciepło wewnętrzne Ziemi. Potencjał, który jest w odnawialnych źródłach energii zapewnia wielokrotnie większe zasoby niż wynosi całkowite zużycie. Przewiduje się, że w okresie najbliższych kilkudziesięciu lat większość energii elektrycznej będzie pochodziła z odnawialnych źródeł [3]. „W Polsce udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym jest szacowany przez takie instytucje, jak: Agencja Rynku Energii, Główny Urząd Statystyczny, Ministerstwo Gospodarki i Europejskie Centrum Energii Odnawialnej” [14]. „OZE w całkowitym zużyciu energii wyniósł 4%. Założenia Polityki Energetycznej do 2020 r. przewidywały 5,1%, zaś ECEO – 2,5% to jest 104 petadżuli (1PJ =1015J), przy całkowitym zużyciu energii pierwotnej wynoszącym około 4000 petadżuli”[14].

W dobie szybkiego rozwoju nowoczesnych technologii postęp sektora OZE jest nieunikniony. Technologie stają się coraz tańsze. Szacuje się że do roku 2030 wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych będzie tańsze niż ze źródeł konwencjonalnych.

STACJE METEOROLOGICZNE

„Meteorologia bada zjawiska i procesy zachodzące w atmosferze ziemskiej, jest działem geofizyki i stanowi jedną z nauk fizycznych (*meteoros*–unoszący się w powietrzu, *logos* - nauka)” [13].

„Podstawowym źródłem poznania procesów zachodzących w atmosferze są obserwacje dokonywane na stacjach meteorologicznych. W zależności od położenia geograficznego i właściwości podłoża procesy te wykazują dużą zmienność w czasie i przestrzeni. Raz zaobserwowane warunki nigdy się już nie powtarzają, ta "niepowtarzalność" powoduje, że tak ważne jest rejestrowanie możliwie dużej liczby parametrów meteorologicznych. Uzyskane dane są materiałem do prac naukowych nt. atmosfery ziemskiej, a takie są

wykorzystywane do prognozowania pogody. Odbiorcy prognoz meteorologicznych są różni, stąd wiele różnych typów prognoz” [13].

Polska sieć meteorologiczna jest tworzona przez trzy rodzaje stacji pracujących w ramach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Stacje meteorologiczne – najważniejsze, mają zakres obserwacji szeroki, służą m.in. do sporządzania prognozy warunków pogodowych, mającej duże znaczenie dla komunikacji, (szczególnie lotniczej i morskiej), rolnictwa czy budownictwa. Charakteryzuje je co najmniej 8 obserwacji na dobę.

Posterunki meteorologiczne – ich zakres jest mniejszy. Wyniki wykorzystywane w nauce i dla planowania przestrzennego, charakteryzują je 3 obserwacje na dobę.

Posterunki opadowe – raz na dobę mierzony jest opad atmosferyczny [13].

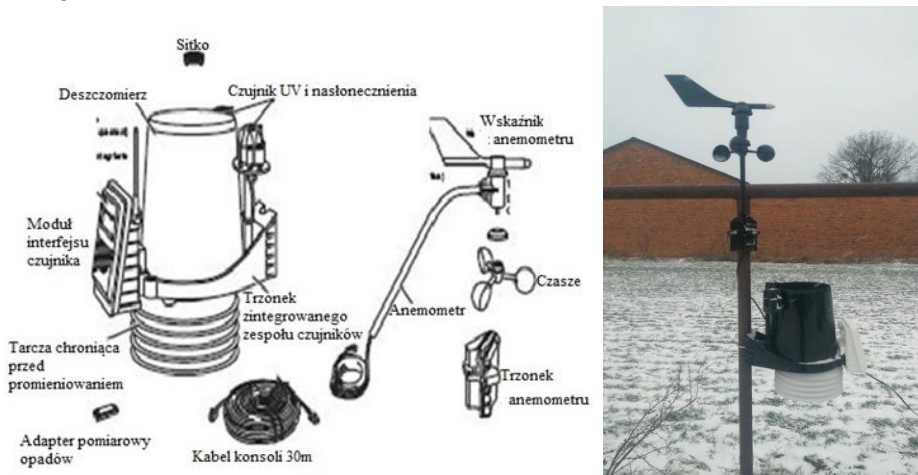
Powyższe stacje mierzą następujące wielkości:

- temperatura powietrza (na różnych wysokościach nad poziomem gruntu) oraz gleby. (na różnych głębokościach), a także wody (w zbiornikach wodnych),
- ciśnienie atmosferyczne (przy powierzchni gruntu ale także jego pionowy rozkład),
- wilgotność powietrza (także jej pionowy rozkład wraz z powierzchniową warstwą gruntu),
- kierunek oraz prędkość wiatru (na różnych wysokościach),
- składowe bilansu promieniowania i bilansu cieplnego,
- widzialność, przeźroczystość i zanieczyszczenie powietrza,
- parametry charakteryzujące wymianę wody między atmosferą, a powierzchnią Ziemi, takie jak: opady atmosferyczne (we wszystkich stanach skupienia wody), osady oraz parowanie z powierzchni gruntu i wód.

Do mierzenia wyżej wymienionych wielkości wykorzystuje się wiele przyrządów takich jak mierniki (miarą mierzonej wielkości jest wychylenie wskazówki), rejestratory (mierzona wielkość przekazywana i rejestrowana w sposób ciągły), rejestratory odległościowe (zawierają system przekazywania impulsów czujnika na znaczne odległości drogą radiową lub przewodową).

STACJA POGODOWA- ZINTEGROWANY ZESPÓŁ CZUJNIKÓW

Zintegrowany zespół czujników (Integrated Sensor Suite-ISS) gromadzi informacje dotyczące pogody i przesyła je do konsoli stacji Vantage Pro2. Zintegrowana stacja podłączona kablem przesyła dane i pobiera energię kablem konsoli. Do analizowanego w stanowisku zespołu czujników należy czujnik temperatury, totalizator, czujnik wilgotności i anemometr, oraz dodatkowo czujnik nasłonecznienia i czujnik UV. Czujniki temperatury oraz wilgotności są umiejscowione w pasywnej osłonie przed promieniowaniem, która minimalizuje oddziaływanie promieniowania słonecznego na wartości pomiarowe czujników. Anemometr mierzy prędkość i kierunek wiatru i może być zainstalowany obok zintegrowanego zespołu czujników lub w innym miejscu. Czujniki nasłonecznienia i UV zamontowane są na zintegrowanym zespole czujników "ISS Plus" obok stożka deszczomierza. Moduł interfejsu czujnika (SIM – Sensor Interface Module) gromadzi dane dotyczące pogody na zewnątrz pochodzące od czujników zintegrowanego zespołu czujników i wysyła je następnie do konsoli Vantage Pro2 [4, 15].

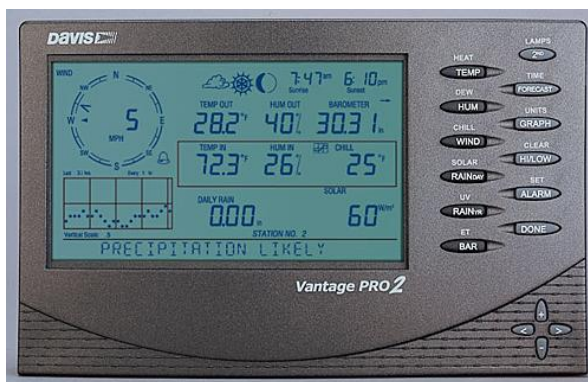


Rys. 1. Elementy składające się na stacji zintegrowany zespół czujników oraz widok stacji pogodowej w miejscu badań terenowych [4, 15]

Konsola zapisuje i wyświetla dane ze stacji pogodowej, posiada opcje alarmu, sporządza wykresy wszystkich wskaźników pogodowych, oraz pełni funkcje interfejsu do połączenia z komputerem za pomocą dodatkowego (opcjonalnego) oprogramowania WeatherLink. Stacje pogodowe Vantage Pro2

plus posiadają dwie podstawowe wersje: przewodową oraz bezprzewodową. W analizowanym przypadku jest to wersja przewodowa [15].

Klawiatura umożliwia przeglądanie obecnych oraz wcześniejszych pomiarów, wyłączenia i ustawienia alarmów, zmianę modeli stacji, wprowadzanie numerów kalibracji, ustawianie i wyświetlanie wykresów, wybieranie czujników oraz sprawdzanie prognozy. Klawiatura składa się z dwunastu klawiszy funkcyjnych zlokalizowanych po prawej stronie wyświetlacza oraz czterech klawiszy nawigacji znajdujących się poniżej klawiszy funkcyjnych. Na każdym klawiszu funkcyjnym naniesiona jest zmienna pogodowa lub polecenie konsoli.



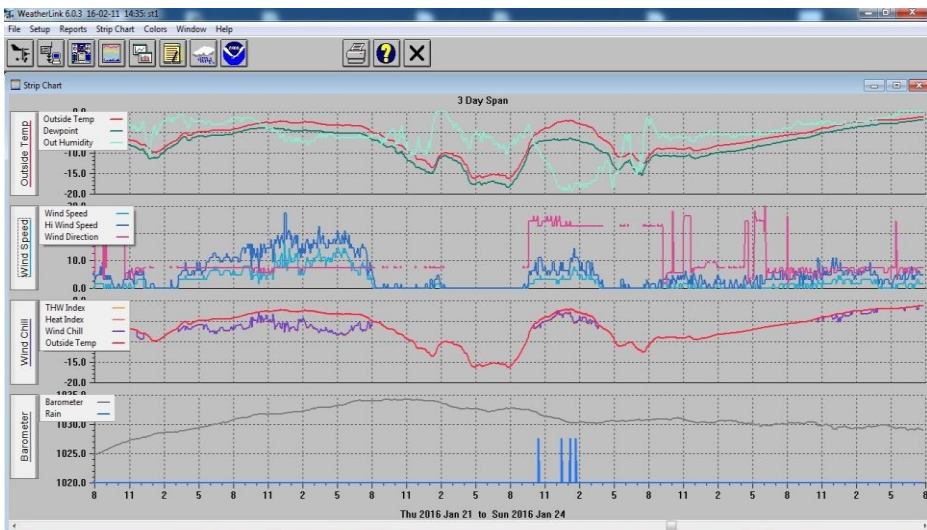
Rys. 2. Konsola Vantage Pro2 [15]

Oprogramowanie DAVIS WeatherLink, po połączeniu ze stacją Vantage Pro2 pozwala na bieżące śledzenie pogody i wykonywanych pomiarów. Oprogramowanie może służyć do przechowywania i analizy danych pomiarowych. Dodatkowo dzięki wchodzącemu w skład zestawu rejestratorowi danych możliwa jest archiwizacja pomiarów kiedy komputer jest wyłączony. Oprogramowanie to dla zdecydowanej większości użytkowników stacji Davis Vantage jest bardzo przydatne, gdyż daje praktycznie nieograniczone możliwości pracy z danymi pomiarowymi. Sam sposób wizualizacji danych na monitorze komputera jest nieporównywalnie bardziej komfortowy niż na znacznie mniejszym ekranie konsoli LCD.

WYKORZYSTANIE STACJI POGODOWEJ DO POMIARÓW METEOROLOGICZNYCH

Próbne pomiary metrologiczne za pomocą stacji pogodowej Vantage Pro2 Plus zostały przeprowadzone w miejscowości Słotwiny. Jest to powiat opolski, województwo lubelskie. Okres przeprowadzania pomiarów trwał od 13.01.2016 do 24.01.2016. Pomiary były wykonywane nieprzerwanie przez 11 dni. Wyniki pomiarów rejestrowane były przy pomocy oprogramowania WeatherLink i zapisywane na twardym dysku komputera. Stacja umieszczona została na metalowej rurze o średnicy 48 mm zgodnie z wytycznymi [15].

Do analizy wykorzystano oprogramowanie WeathrtLink, które odpowiednio skonfigurowano do potrzeb pomiarów. Na jednym przebiegu jest możliwe wykreślenie jednej wielkości lub wielu, zależnie od potrzeb. Oprócz generowania wykresów oprogramowanie daje możliwość monitorowania bieżących wskazań czujników, generowania raportów dziennych, miesięcznych oraz rocznych.



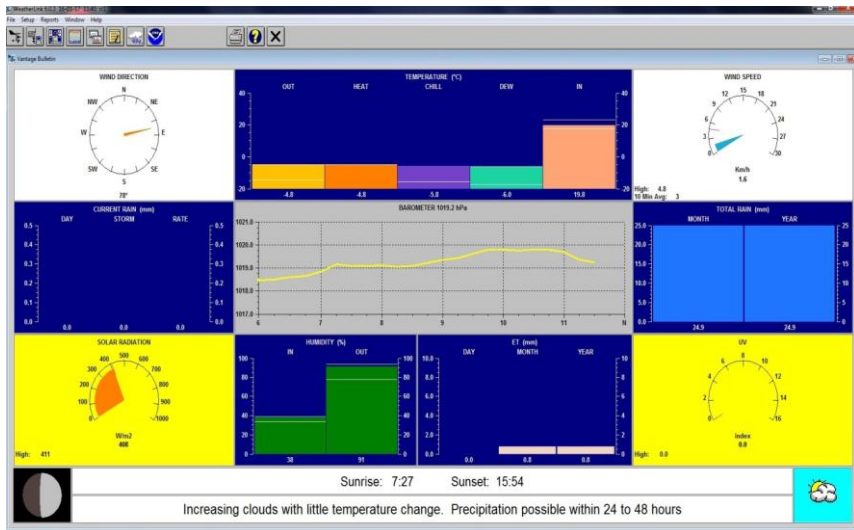
Rys. 3. Przebiegi wszystkich wielkości pogodowych [15]

Rysunek 3 przedstawia przebieg dziesięciu wielkości pogodowych jaki mierzy zintegrowany zespół czujników. Jest to przebieg z trzech ostatnich dni i nie podlega on edycji. Aby uruchomić okno dialogowe z tymi przebiegami należy lewym przyciskiem myszy wybrać ikonę wykres paskowy. Po lewej stronie wykresu znajduje się jednostka jednej z mierzonych wielkości.

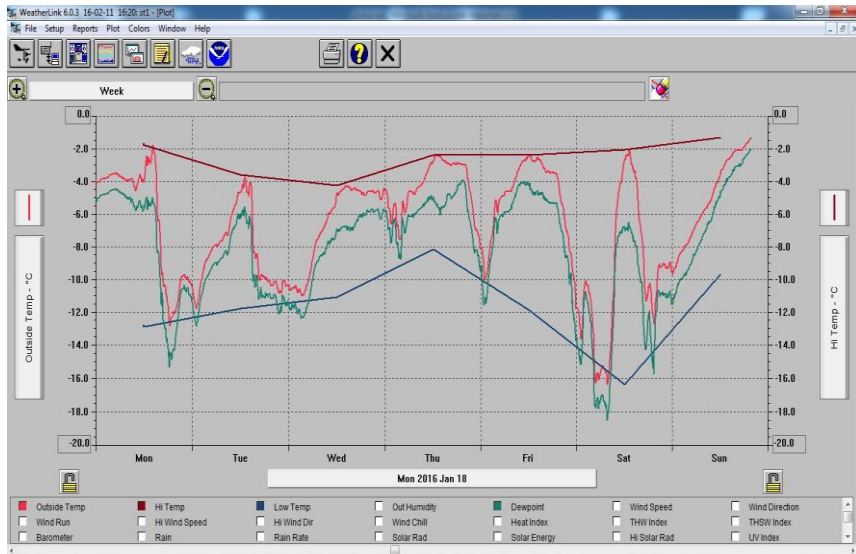
Date	Time	Temp Out	HI	Low	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir	Wind Run Speed	HI	HI	Wind Chill	Heat Index	TBM Index	THSM Index	Bar	Rain Rate	Rain Rate	Solar Rad.	Solar Hi	Solar Rad.	UV Index	UV Dose
16-01-24	15:00	-2.4	-2.4	-2.4	92	-3.5	3.2	E	0.27	6.4	E	-3.2	-2.4	-3.3	-5.0	1029.6	0.00	0.0	27	0.19	30	0.0	0.00
16-01-24	15:05	-2.3	-2.3	-2.4	92	-3.5	3.2	E	0.27	6.4	E	-3.1	-2.4	-3.2	-5.0	1029.6	0.00	0.0	18	0.13	25	0.0	0.00
16-01-24	15:10	-2.3	-2.3	-2.4	93	-3.3	3.2	E	0.27	9.7	E	-3.1	-2.4	-3.2	-5.1	1029.6	0.00	0.0	13	0.09	16	0.0	0.00
16-01-24	15:15	-2.3	-2.3	-2.3	93	-3.3	3.2	E	0.27	4.8	E	-3.1	-2.3	-3.1	-5.0	1029.6	0.00	0.0	10	0.07	11	0.0	0.00
16-01-24	15:20	-2.3	-2.3	-2.3	93	-3.3	1.6	E	0.13	4.8	E	-2.3	-2.3	-2.3	-4.3	1029.5	0.00	0.0	7	0.05	7	0.0	0.00
16-01-24	15:25	-2.2	-2.2	-2.3	92	-3.3	1.6	E	0.13	4.8	E	-2.2	-2.3	-2.3	-4.3	1029.5	0.00	0.0	6	0.04	7	0.0	0.00
16-01-24	15:30	-2.2	-2.2	-2.3	92	-3.3	3.2	E	0.27	6.4	E	-3.0	-2.3	-3.1	-5.1	1029.5	0.00	0.0	4	0.03	5	0.0	0.00
16-01-24	15:35	-2.2	-2.2	-2.2	92	-3.3	3.2	E	0.27	6.4	E	-2.9	-2.3	-3.1	-5.1	1029.5	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	15:40	-2.2	-2.2	-2.2	92	-3.3	1.6	E	0.13	4.8	E	-2.2	-2.3	-2.3	-4.3	1029.5	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	15:45	-2.2	-2.2	-2.2	93	-3.1	3.2	E	0.27	4.8	E	-2.9	-2.2	-3.0	-5.1	1029.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	15:50	-2.2	-2.1	-2.2	93	-3.1	1.6	E	0.13	4.8	E	-2.2	-2.2	-2.2	-4.3	1029.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	15:55	-2.1	-2.1	-2.2	93	-3.1	0.0	E	0.00	1.6	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:00	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	E	0.00	3.2	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:05	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	E	0.00	3.2	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:10	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	1.6	E	0.13	3.2	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:15	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	E	0.00	1.6	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:20	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	E	0.00	1.6	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:25	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.9	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:30	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.0	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:35	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.0	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:40	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.0	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.8	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:45	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.0	0.0	E	0.00	3.2	E	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:50	-2.1	-2.1	-2.1	94	-2.9	0.0	E	0.00	1.6	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.7	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	16:55	-2.1	-2.1	-2.1	94	-2.9	0.0	E	0.00	1.6	E	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.6	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:00	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	NE	0.00	1.6	NE	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.6	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:05	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.1	0.0	---	0.00	0.0	---	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.5	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:10	-2.1	-2.1	-2.1	93	-3.0	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.4	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:15	-2.1	-2.1	-2.2	94	-2.9	0.0	E	0.00	3.2	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.4	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:20	-2.1	-2.1	-2.2	94	-2.9	0.0	E	0.00	4.8	E	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:25	-2.1	-2.1	-2.1	94	-2.9	1.6	WNW	0.13	4.8	WNW	-2.1	-2.2	-2.2	-4.2	1029.2	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:30	-2.1	-2.1	-2.1	94	-2.9	0.0	ENE	0.00	3.2	ENE	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:35	-2.1	-2.1	-2.1	94	-2.9	1.6	ENE	0.13	4.8	E	-2.1	-2.1	-2.1	-4.2	1029.4	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00
16-01-24	17:40	-2.0	-2.0	-2.1	95	-2.7	1.6	ENE	0.13	4.8	E	-2.0	-2.1	-2.1	-4.1	1029.3	0.00	0.0	0	0.00	0	0.0	0.00

Rys. 4. Raport dzienny (częstotliwość pomiarów co 5 minut)

Rysunek 4 przedstawia dzienny raport pomiarów wszystkich mierzonych wielkości. Rozdzielczość pomiarów wynosi 5 minut. Rozdzielczość można zmieniać w zależności od potrzeb. Przy krótkotrwałych pomiarach preferowana jest rozdzielczość co 1 albo co 5 minut, przy pomiarach długotrwałych nie jest konieczna taka dokładność i rozdzielczość może być mniejsza (max 120 min.).



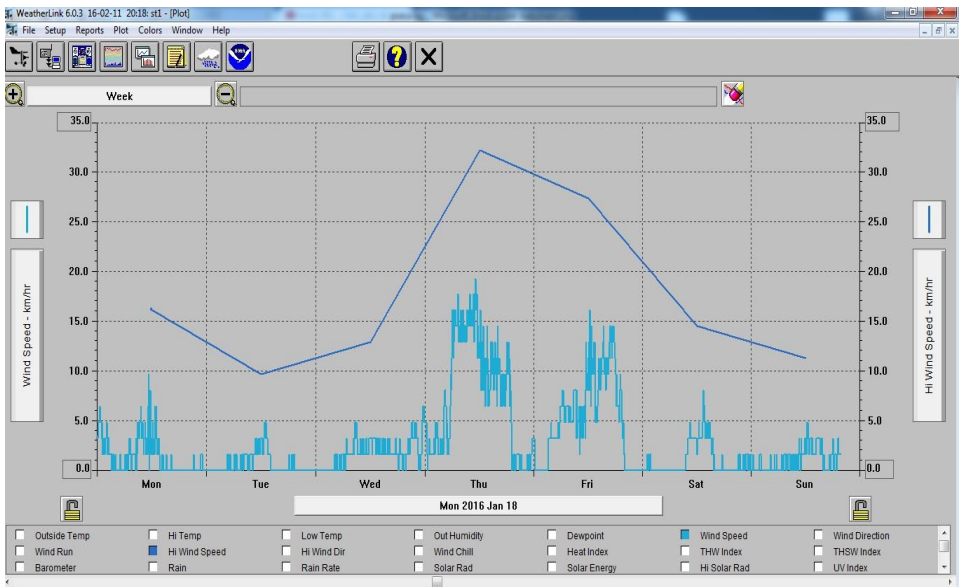
Rys. 5. Wskazania czujników [15]



Rys. 6. Przebieg tygodniowy temp. średniej, minimalnej, maksymalnej oraz temperatury punktu rosy

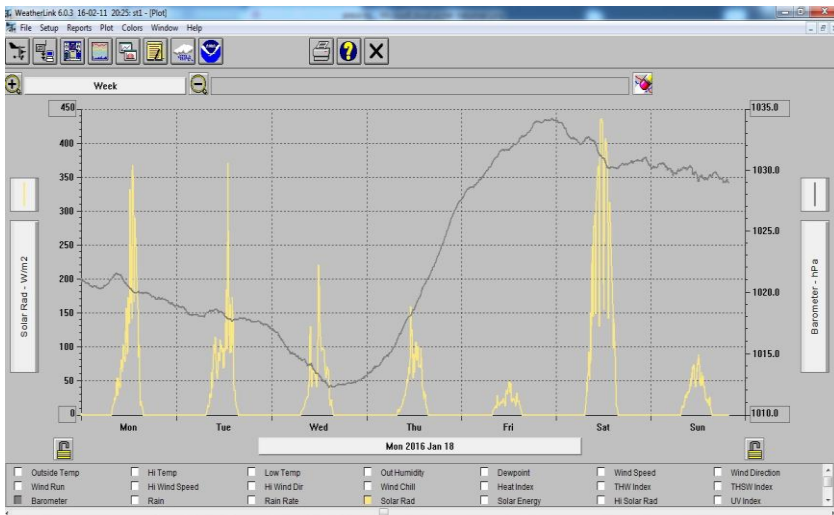
Na rysunku 5 przedstawiono wskazania czujników. Aby włączyć okno dialogowe zawierające wskazania czujników należy kliknąć ikonę okno biuletynu. Wskazania, które można zaobserwować w wybranym oknie to: kierunek wiatru, wskazania temperatur, prędkość wiatru, opad podczas burzy, trend ciśnienia z ostatnich sześciu godzin, suma opadów, nasłonecznienie powierzchni, wilgotność, promieniowanie UV, fazę księżyca oraz ikonę obecnej pogody.

Rysunek 6 to przebieg temperatur. Aby wyświetlić na ekranie przebieg jak na rysunku należy wcisnąć ikonę wykresy a następnie z menu wyboru wielkości pogodowych znajdujących się poniżej wykresu wybrać: Outside Temp (temperatura na zewnątrz), Hi Temp (temperatura maksymalna), Low Temp (temperatura minimalna), oraz Dewpoint (temperatura punktu rosy). Przedstawiony przebieg jest przebiegiem tygodniowym (ikona Week widoczna w lewym górnym rogu okna), natomiast możliwa jest modyfikacja poprzez zmianę klikając „plus” lub „minus” po lewej i prawej stronie ikony.



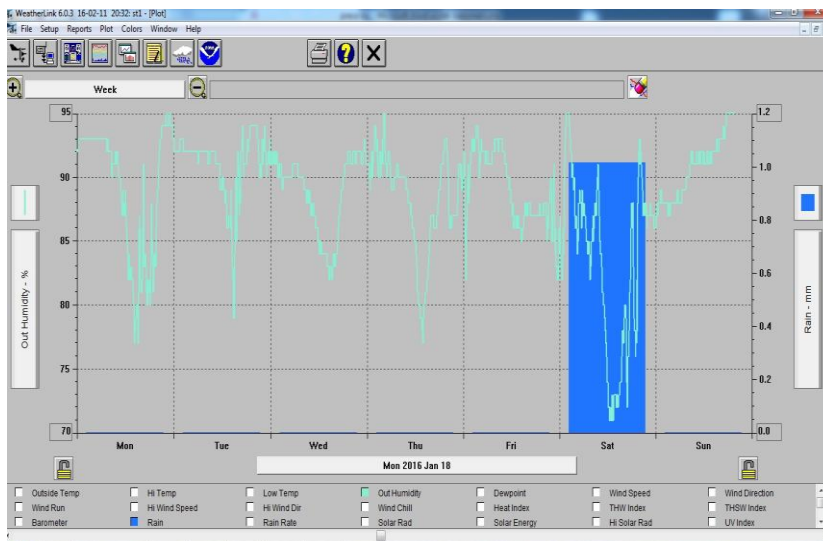
Rys. 7. Przebieg tygodniowy średniej i maksymalnej prędkości wiatru [15]

Powyższy rysunek 7 przedstawia średnią i maksymalną prędkość wiatru. Żeby wyświetlić wykres jak na rysunku należy tak ja we wcześniejszym przypadku wybrać ikonę wykresy a następnie z menu znajdującego się poniżej okna z wykresem wybrać: Hi Wind Speed (maksymalna prędkość wiatru), oraz Wind Speed (średnia prędkość wiatru).



Rys. 8. Przebieg tygodniowy energii słonecznej i ciśnienia [15]

Na rysunku 8 wykreślono przebieg ciśnienia oraz energii docierającej ze słońca. Przebieg należy wyświetlić poprzez wybranie ikony wykres a następnie z menu (jak w powyższych przypadkach) wybrać Baromethr (ciśnienie), oraz Solar Rad (energia słoneczna). Z lewej strony wykresu widnieje skala opisująca energię słoneczną, natomiast z prawej ciśnienie atmosferyczne. We wcześniejszych przypadkach skalę po obu stronach wykresu opisywały tę samą wielkość.



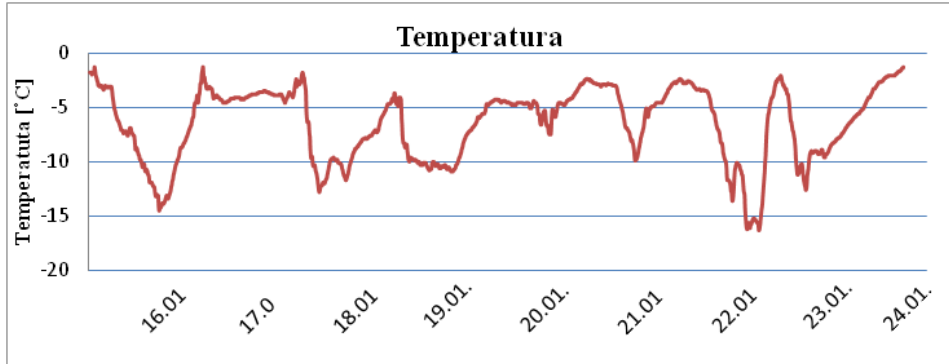
Rys. 9. Przebieg tygodniowy opadów i wilgotności powietrza

Rysunek 9 to przebieg wilgotności oraz opadów. O ile wykres wilgotności odzwierciedla faktyczny stan pogody o tyle stan opadów został zasymulowany. Symulacja polegała na sztucznym wywołaniu opadu deszczu poprzez spryskiwacz jakiego na co dzień używa się do podlewania roślin ogrodowych.

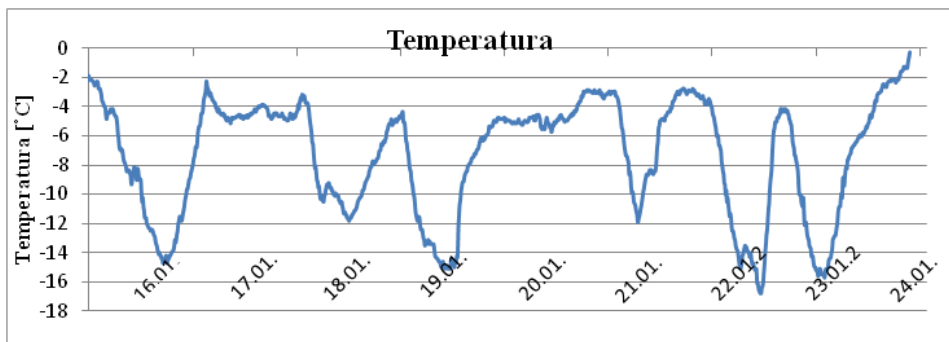
WERYFIKACJA BADAŃ WŁASNYCH

W celu sprawdzenia poprawności mierzonych parametrów pogodowych przeprowadzono próbę porównania wybranych wskaźników ze znajdującą się w pobliżu stacją metrologiczną. Stacja, z którą zostały porównane wyniki własnych badań znajduje się w miejscowości Celejów. Miejscowość ta jest oddalona o około 10 km w linii prostej od miejsca gdzie zostały przeprowadzone pomiary stacją Vantage Pro2 plus. Dane pogodowe ze stacji Celejów zostały

pozyskane przy współpracy z pracownikami naukowymi uczelni UMCS, wydziału Nauk o Ziemi.



Rys. 10. Przebieg temperatury wykreślony przez stację Vantage Pro2 plus [15]



Rys. 11. Przebieg temperatury wykreślony przez stację Celejów [15]

Porównując dane ze stacji Vantage Pro 2 plus oraz stacji Celejów można stwierdzić, że najbardziej zbliżone są przebiegi temperatury. Stację Celejów należy traktować jako wzorcową, ponieważ jest ona wyposażona w profesjonalną certyfikowaną aparaturę pomiarową. Stacja Vantage Pro2 plus jest urządzeniem półprofesjonalnym i nie może być wykorzystywana do profesjonalnych pomiarów meteorologicznych. Znaczne różnice można zaobserwować w przebiegach prędkości wiatru. Mogą one wynikać jednak nie tylko z niedokładności pomiarowych stacji Vantage Pro2 plus, ale także z odległości pomiędzy stacjami. Wyraźnie wyższe wartości promieniowania słonecznego zmierzone przez stację Vantage Pro2 plus wynikają z tego, że do

pomiaru promieniowania używany jest zwykły luksomierz, natomiast w stacji Celejów używana jest specjalna aparatura do pomiaru natężenia nasłonecznienia. Stacje półprofesjonalne są wykorzystywane przede wszystkim przez indywidualnych użytkowników. Znakomicie sprawdzają się w rolnictwie, czy w sadownictwie do monitorowania obecnej pogody. Mogą być również wykorzystywane do pomiarów meteorologicznych pod kątem odnawialnych źródeł energii. Wykorzystując stację do pomiaru prędkości wiatru można oszacować czy w danym miejscu będzie opłacalne wybudowanie farmy wiatrowej czy fotowoltaicznej.

PODSUMOWANIE

Celem niniejszej pracy było przetestowanie stanowiska do pracy w laboratorium badawczym odnawialnych źródeł energii, z którego będą mogli korzystać studenci Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Stacja wraz z konsolą i oprogramowaniem daje mnóstwo możliwości. Jest w stanie wyświetlić ponad 30 wielkości dotyczących pogody. Wyniki przeprowadzonych pomiarów jak i porównanie ich z profesjonalną stacją meteorologiczną Celejów zostały przedstawione z niniejszej pracy, a wynikające z nich wnioski w zakresie zbieżności uzyskanych wartości są pozytywne. Stacja Celejów jest podległa jednostce Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej jaką jest Wydział nauk o Ziemi niniejszej uczelni.

LITERATURA

- [1] Jastrzębska G., *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2009
- [2] Nowak W., Stochel A.A., Borsukiewicz-Gozdor A., *Zastosowanie odnawialnych źródeł energii*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, 2008
- [3] Tytko R., *Odnawialne źródła energii*, Wydawnictwo Dimikor, Warszawa 2007
- [4] Instrukcja obsługi zintegrowanego zespołu czujników Vantage Pro2 plus
- [5] Instrukcja obsługi konsoli Vantage Pro2
- [6] Instrukcja obsługi oprogramowania WeatherLink
- [7] www.conrad.pl/Stacja-meteorologiczna-Davis-Vantage-Pro2 [dostęp 19.01.2016]
- [8] <http://www.wysokosc.mapa.info.pl> [dostęp 19.01.2016]
- [9] www.google.pl/maps/place/Słotwiny [dostęp 20.01.2016]
- [10] <https://www.google.pl/search?q=ogr%C3%B3dek+meteorologiczny&espv=%3A> [dostęp 19.02.2016]

- [11] Ministerstwo Gospodarki: Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku [Warszawa, lipiec 2009]
- [12] <http://materialy.wb.pb.edu.pl/mariawalery/files/> [dostęp 19.02.2016]
- [13] <http://webcache.googleusercontent.com/search> [dostęp 19.02.2016]
- [14] Stryczewska H., Nalewaj K., Goleman R., Ratajewicz-Mikołajczak E., Pawłat J., *Energie odnawialne Przegląd technologii i zastosowań*, Lublin 2012, Politechnika Lubelska
- [15] Bukała K., Stacja pogodowa - przystosowanie instalacji do pracy w laboratorium badawczym, praca dyplomowa, Politechnika Lubelska 2016

ELECTROCHEMICALLY DEPOSITED NI NANOTUBES

INTRODUCTION

A considerable attention in the modern world is given to the nanostructures (NS) due to their unique properties and application prospects as devices for chemical and biological practice [1, 2] and catalysis [3], objects for the biomedicine [4, 5], as well as sensitive elements of the magnetic field actuators [6-9]. A large diversity of the NS obtaining methods, such as the spontaneous confluence of nanoparticles [10], hydrothermal synthesis [11], electrochemical deposition [12] etc. [10-13]. One can distinguish the electrochemical deposition from the variety of synthesis methods. The electrochemical deposition makes it possible to control the structure, element and phase composition of the obtained NS by means of the deposition conditions change. Moreover, the use of templates with certain pores geometry in the electrochemical deposition process enables one to synthesize the NS with a pre-determined form.

Goal of the present work is the investigations of the regularities of nucleation and growth of nickel nanostructures in the pores of the swift heavy ion track (ion track) polymer films in the process of electrochemical synthesis, and the change of the crystal structure and magnetic characteristics of synthesized nanotubes (NTs) of deposition peremeters.

EXPERIMENTAL

Formation of Ni NTs has been realized in the pores of the ion track polymer films on the base of the polyethyleneterephthalate (PET) of the Hostaphan® type from the «Mitsubishi Polyester Film» (Germany) with thickness 12 μm, pores diameters 400 nm and density $4 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$. Before a synthesis a gold layer with thickness 10 nm, deposited by the magnetron sputtering in vacuum served as a cathode for the deposition process.

¹ SPC of NAS of Belarus on Material Science, Minsk, Belarus

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

³ Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

Electrochemical synthesis was carried out in the potentiostatic mode at cathode voltages in the range 1.25 to 2.0 V using the electrolyte $\text{NiSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$ (100 g/l), H_3BO_3 (45 g/l), $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (1.5 g/l) at temperature 25°C. The process has been controlled chronoamperometrically using the Agilent 34410A multimeter.

Investigations of the structure and morphology of the synthesized NTs was carried out by the scanning electron microscopy (SEM) on the Hitachi TM3030 set up equipped with the Bruker XFlash MIN SVE the energy-dispersive X-ray analysis (EDX) with the accelerating voltage 15 kV.

XRD analysis was carried out on the D8 ADVANCE diffractometer with the use of X-ray tube with Cu anode and graphitic monochromator on the diffracted beam. The XRD patterns have been recorded in the angles range $2\theta \sim 30\text{--}70^\circ$, with the step $2\theta \sim 0.02^\circ$.

RESULTS AND DISCUSSION

A morphology of the deposited structure is determined by a form of the electrode and the applied current value. A circular base electrode is used with a high current density. This electrode induces the tubular growth due to the “tip effect”. Still, due to a low current density, the ions diffusion rate overcomes the “tip effect” which leads to a formation of rigid nanostructures in the form of wires.

Let us consider the influence of synthesis conditions on the geometric characteristics of the nickel-based NTs. Experimental chronoamperograms of the depositions of NTs obtained at various synthesis conditions are presented in Fig. 1.

Boric acid is considered as a buffer agent in the electrochemical synthesis process long since. A presence of the boric acid in the electrolyte intensifies the metals deposition due to its ability to lower the reduction potentials of metals. With that the boric acid plays a key role in the electrodeposition of Ni NTs by a formation of surface-bound nickel-borate complex on the pore walls.

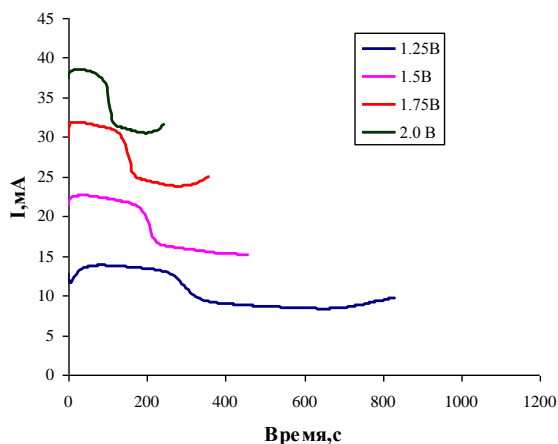


Fig. 1. Experimental chronoamperograms of the Ni nanotubes synthesis process

A diagram of the tube walls formation by means of an addition of the boric acid in the electrolyte solution is presented in Fig. 2. As seen from these results, boric acid forms the nickel-borate complex with Ni and it can easily connect the hydroxyl groups which are located on the ion track surfaces of the PET templates.

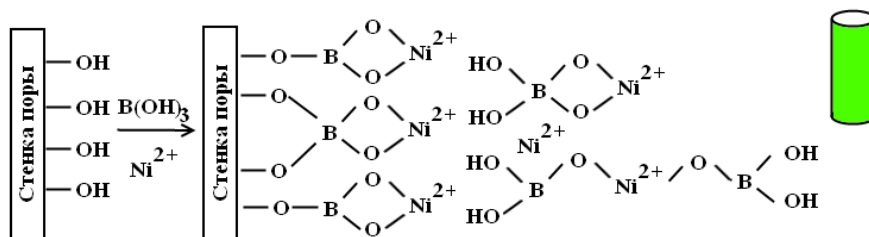


Fig. 2. A diagram of Ni-based nanotubes walls formation

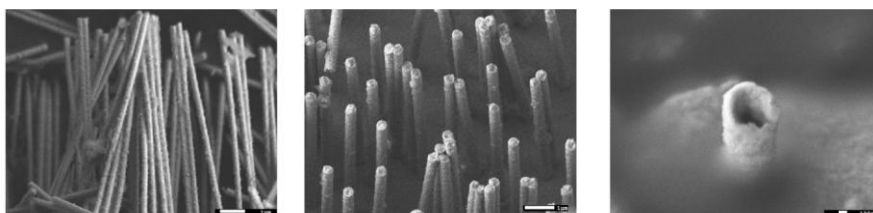


Fig. 3. SEM images of the Ni-based nanotubes obtained at the voltage 1.5 V and electrolyte temperature 25°C

It is seen from the SEM micrographs presented in Fig. 3 that the NTs are isotropic and cylindrical, with length $12\ \mu\text{m}$ and external diameter $400\pm 5\ \text{nm}$, which corresponds to the pore diameters. The internal diameters of nanotubes depend of voltage and are shown on picture

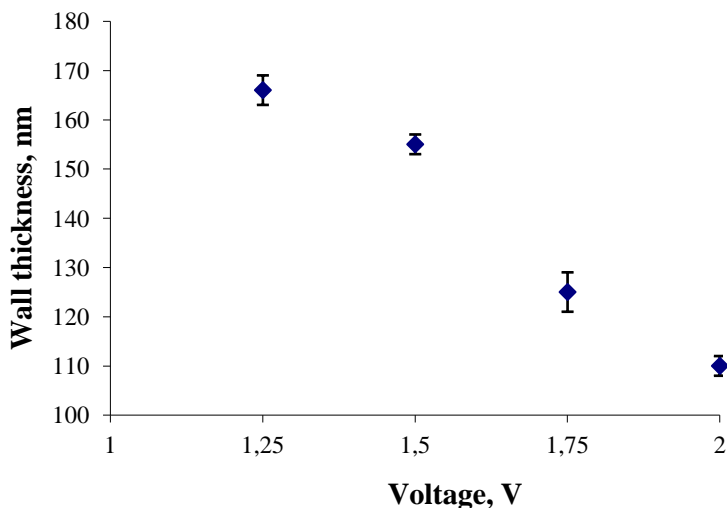


Fig. 4. Dependence of wall thickness on voltage of electrodeposition

XRD investigations of the samples prepared at different synthesis conditions has been carried out for determination of their influence on the crystal structure. A broad halo-peak a small peak are observed on the XRD pattern at the angle ranges $2\theta = 20\text{--}35^\circ$ and $2\theta = 52\text{--}55^\circ$, correspondingly, since the studied samples were in the polymer during the analysis. With that, all the XRD patterns contained peaks of low intensity, being characteristic for the XRD on nanosized objects (Fig.5). Broadening of the peaks evidences the polycrystal structure of the Ni – NTs.

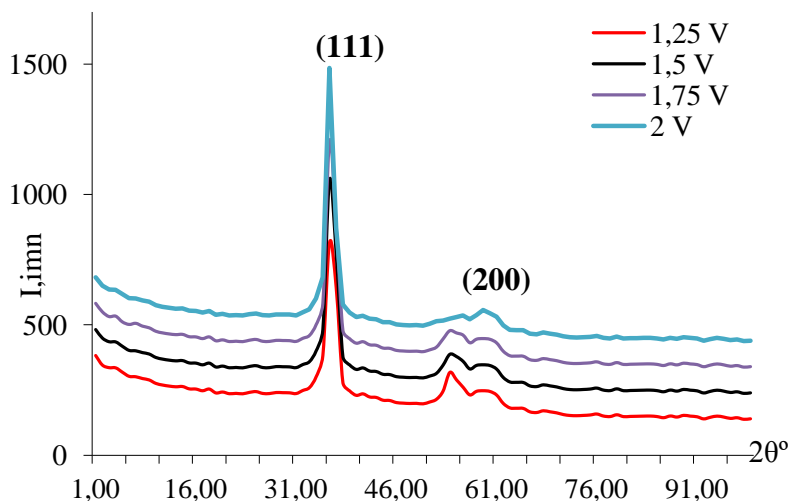


Fig. 5. XRD patterns of Ni nanotubes

Analysis of the XRD patterns has shown that the synthesized Ni – NTs possess the f.c.c. lattice phase with the crystal structure parameters being different from the reference values. At that, with the increase of voltage during the synthesis process, on the XRD pattern one can observe the intensity increase of the peak with the Miller indexes (111) and the intensity decrease of the (200) peak. This evidences the dominance of the [111] texture direction in the obtained NTs crystal structure, which has been calculated according to the Harris equation. The parameters of crystallinity structure changes from deposition parameters. Lattice parameters, crystals size are shown in table 1.

Table 1. Crystallinity parameters of nanotubes

Voltage, V	1,25	1,5	1,75	2
a, Å	3,517	3,5179	3,5192	3,5211
L, nm	24,77	25,73	26,91	28,11

The investigation of macromagnetic properties has been carried out using the vibrational magnetometry by means of the Liquid Helium Free High Field Measurement System (Cryogenic Ltd.). The measurements have been carried out by the induction method, by means of a determination of the induced electromotive force of the induction in signal coils by a magnetized sample

oscillating with a definite frequency at magnetic field $B \pm 3$ T at temperature 300 K. The obtained hysteresis loops for the studied samples are presented in Figs. 6 (a-d).

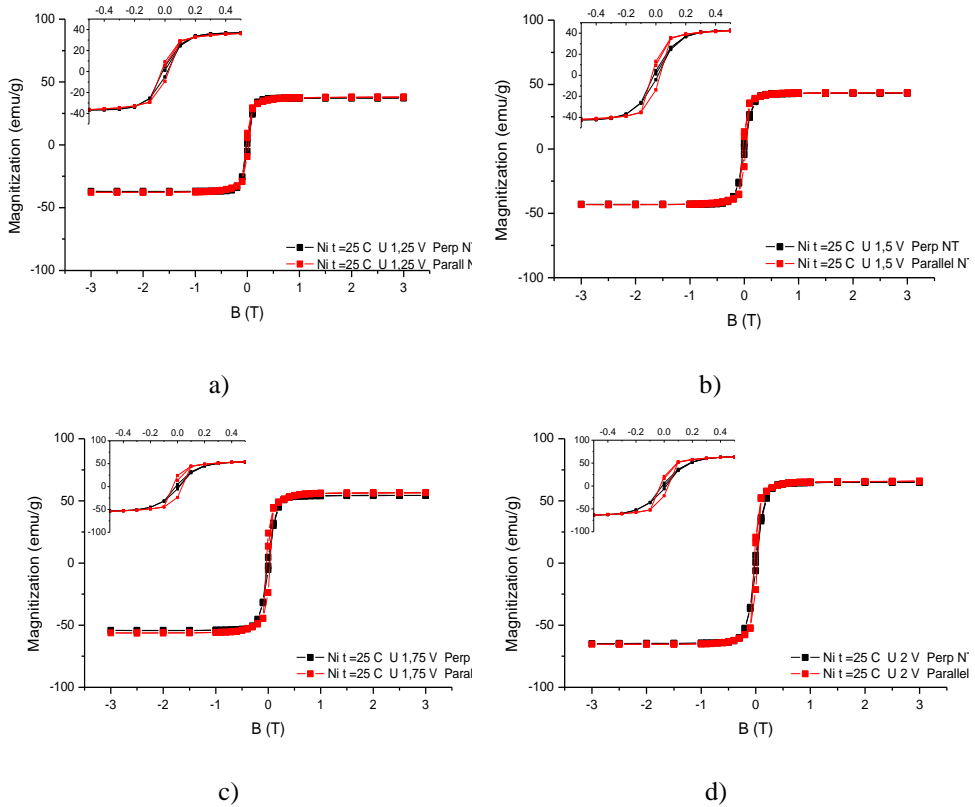


Fig. 6. Magnetic properties of Ni nanotubes. Dependences of magnetization on magnetic fields for the nanotubes in the PETF template for the parallel (red line) and perpendicular (black line) orientations of magnetic field relative to the orientation of nanotubes, obtained at the electrolyte temperature 25 °C and voltages: 1.25 V (a); 1.50 V (b); 1.75 V (c); 2 B (d)

It is well known that the values of NTs main magnetic characteristics are determined by a behavior of magnetic domains in the external magnetic field. Taking into account the fact that the obtained samples had various structural parameters on the magnetization dependences on magnetic field, the changes of main magnetic characteristics, presented in the Table 2, have been observed.

Table 2. Magnetic characteristics of the synthesized Ni nanotubes

Ni, d=400 nm, t=25 °C	Ms, emu/g		Mr, emu/g		H, Oe	
	Perpendicular ar NT	Parallel NT	Perpendicular ar NT	Parallel NT	Perpendicular ar NT	Parallel NT
1.25	37	37.5	5	9.3	160	240
1.5	43	43	4.4	13.5	140	260
1.75	54	56.5	5	22	130	330
2	65	65	6	18	150	280

The increase of magnetic parameters values at the voltage increase at which the sample has been obtained evidences the change of magnetic domain structures. This is caused by the change of Ni NTs structure, which is confirmed by the XRD analysis data.

CONCLUSIONS

Nickel nanotubes have been obtained using swift-heavy-ion-track polymer films on the base of PET, by means of the electrochemical synthesis at various potentials. Investigations of the morphological and structural characteristic of the nanotubes using SEM, EDX and XRD has made it possible to determine that Ni nanotubes have lateral dimensions corresponding to the pores parameters (length ~12 μm and pores external diameters 400 nm) with the tubes walls thickness in the range from 60 nm to 160 nm, depending on the deposition conditions. The XRD analysis investigations have shown that the synthesized Ni nanotubes possess the f.c.c. lattice phase with the crystal structure parameters being different from the reference values. The increase of magnetic parameters values at the rise of the voltage evidence the change of magnetic properties, which is cause by a change of Ni nanotubes structure. This is confirmed by the XRD analysis.

REFERENCES

- [1] Goldberger J., He R., Zhang Y. Single-crystal gallium nitride nanotubes. *Nature* 2003, 422, 599–602
- [2] Sanchez-Castillo M. A., Couto C., Kim W. B. *Angew. Gold-nanotube membranes for the oxidation of CO at gas-water interfaces. Chem. Int. Ed.* 2004, 43, 1140
- [3] Kros A., Nolte R. J. M., Sommerdijk N. A. J. M. Conducting polymers with confined dimensions: track-etch membranes for amperometric biosensor applications. *Adv. Mater.* 2002, 14, 1779

- [4] Yu S., Lee S. B., Martin C. R. Electrophoretic protein transport in gold nanotube membranes. *Anal. Chem.*, 2003, 75, 1239
- [5] Dave S.R., Gao X. Wiley. Monodisperse magnetic nanoparticles for biodetection, imaging, and drug delivery: a versatile and evolving technology. *Interdiscip. Rev. Nanomedicine Nanobiotechnology*, 2009,1 (6), 583–609
- [6] Tans S.J., Devoret M.H., Dai H. Individual single-wall carbon nanotubes as quantum wires. *Nature*, 1997, 386, 474
- [7] Dai H., Hafner J.H., Rinzler A.G. Nanotubes as nanoprobe in scanning probe microscopy. *Nature*, 1996, 384, 147
- [8] Lieber C.M. One-dimensional nanostructures: Chemistry, physics and applications. *Solid State Commun.*, 1998, 107, 607
- [9] Demyanov S.E., Kaniukov E.Yu., Petrov A.V., Sivakov V. Positive magnetoresistance in Si/SiO₂ (Cu/Ni) structures, *Sensors and Actuators. A. Physical*, 2014, 216, 64–68
- [10] Sehayek T., Lahav M., Popovitz-Biro R. Template Synthesis of Nanotubes by Room-Temperature Coalescence of Metal Nanoparticles. *Chem. Mater.*, 2005, 17, 3743
- [11] Li Y., Wang J., Deng Z.J. Am. Copper Dendrites: Synthesis, Mechanism Discussion, and Application in Determination of L -Tyrosine & DESIGN. *Chem. Soc.*, 2001, 123, 9904
- [12] Haehnel V., Fähler S., Schaaf P. Towards smooth and pure iron nanowires grown by electrodeposition in self-organized alumina membranes. *Acta Mater.* 2010, 58 (7), 2330–2337
- [13] Kaniukov E., Kozlovskiy A., Shlimas D. Tunable synthesis of copper nanotubes. *IOP Conf. Series: Mat. Science and Eng*, 2016, 110

**SPONSORZY I INSTYTUCJE WSPIERAJĄCE VI SYMPOZJUM NAUKOWE
ELEKTRYKÓW I INFORMATYKÓW**

COMARCH



FESTO



DZIEKUJEMY!!!

**PATRONI VI SYMPOZJUM NAUKOWEGO ELEKTRYKÓW
I INFORMATYKÓW**

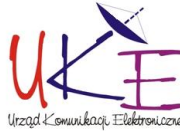
Patronat Prezydenta Miasta Lublin

**PATRONAT
HONOROWY**



PREZYDENT MIASTA LUBLIN
KRZYSZTOF ŻUK

Patronat honorowy Prezesa Urzędu Komunikacji Elektronicznej



Patronat Lubelskiego Oddziału Stowarzyszenia Elektryków Polskich



Patronat Jego Magnificencji Rektora Politechniki Lubelskiej



Patronat Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki



Patronat Lubelskiego Koła Polskiego Towarzystwa Informatycznego



*Patronat Lubelskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Zarządzania
Produkcją*





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

I stopień - studia inżynierskie, bez specjalności

ELEKTROTECHNIKA
INFORMATYKA
INŻYNIERIA SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA
WEWNĘTRZNEGO (TYLKO STUDIA NIESTACJONARNE)
MECHATRONIKA (z Wydz. Mechanicznym)
INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA (z Wydz. Mechanicznym)

Elektrotechnologie OZE
 Inteligentne technologie w elektrotechnice
 Systemy optoelektroniczne
 Zrównoważona energetyka
 Elektroenergetyka
 Projektowanie urządzeń elektrycznych
 Napędy elektryczne w automatyce przemysłowej
 Elektrotechnologie w medycynie
 Inżynieria komputerowa w diagnostyce medycznej
 Elektrotechnika w pojazdach samochodowych
 Power and Measurement (jęz. ang.)
 Энергетика и Электрические измерения (jęz. ros.)

II stopień (studia magisterskie)

ELEKTROTECHNIKA
INFORMATYKA
MECHATRONIKA
INŻYNIERIA BIOMEDYCZNA

specjalności

Elektroniczna aparatura i informatyka medyczna
 Technologie wytwarzania w inżynierii biomedycznej

Systemy mobilne w mechatronice
 Mechatronika samochodowa
 Mechatronika w górnictwie

Aplikacje internetowe
 Eksploatacja systemów informatycznych
 Systemy i aplikacje multimedialne
 Systemy mobilne i techniki multimedialne
 Systemy teleinformatyczne
 Technologie wytwarzania oprogramowania
 Informatyka medyczna
 Sieci informatyczne
 Systemy analizy danych
 Mobile Application Development (jęz. ang.)
 Mobile Systems and Information Networks (jęz. ang.)



WIĘCEJ O REKRUTACJI
<http://rekrutacja.weii.pollub.pl>
 tel. 81 5384742

