

Elektrotechnologie w projektach studentów
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
Vol.6

Monografie – Politechnika Lubelska



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

Elektrotechnologie w projektach studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Vol.6

redakcja:
Paweł A. Mazurek



Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
Lublin 2020

Recenzenci:

dr hab. inż. Michał Majka, prof. uczelni

dr inż. Michał Łanczot

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2020

ISBN: 978-83-7947-453-0

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59

Druk: DjaF – 30-092 Kraków, ul. Kmietowicza 1/1
www.djaf.pl

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

Nakład: 50 egz.

<i>Przedmowa</i>	7
1. Paweł Wroński Projekt automatyki budynkowej w oparciu o system EcoStruxure	9
2. Wojciech Chomik, Damian Dudło Opracowanie i badania symulacyjne modelu małej elektrowni ze źródłami fotowoltaicznym	17
3. Magdalena Wielgus Sposoby podejmowania decyzji w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej	29
4. Mateusz Szynkaruk Projekt sterowania układem napędowym maszyny stolarskiej	39
5. Mariusz Pietrzak Projekt stanowiska do badania alternatora samochodowego	50
6. Jarosław Żak Technologia parametrycznego modelowania informacji o budynku (BIM) – rozwój, ryzyko, korzyści	61
7. Łukasz Gozdera Nowoczesne systemy bezpieczeństwa w pojazdach	69
8. Michał Andrzej Ćwikliński Model laboratoryjny do generowania sygnałów i obsługi urządzeń zewnętrznych za pomocą sterownika PLC	76
9. Kamil Matras Projekt sterownika prostownika trójfazowego ze sprzężeniem napięciowym	84
10. Paweł Sylwester Kołodziej Projekt wirtualnego miernika rezystancji w środowisku programistycznym LABVIEW	97
11. Krzysztof Styk Mobilne stacje transformatorowe sposobem na zwiększenie ciągłości zasilania odbiorców	103
12. Bartłomiej Żuchnik Inteligentne technologie w budownictwie mieszkaniowym z wyszczególnieniem systemów EIB/KNX	110
13. Piotr Mickiewicz Aspekty prawne przyłączania instalacji OZE do systemu elektroenergetycznego	121
14. Jakub Młodzikowski Wybrane zagadnienia jakości energii elektrycznej, a punkty ładowania samochodów elektrycznych	127

15.	Mateusz Janczak Projekt przetwornicy napięcia DC/DC. Układ obniżający i podwyższający napięcie	133
16.	Mateusz Wojciechowski Model układu przekształtników o komutacji wymuszonej	144
17.	Jakub Bieniek Linia Potrzeb Nietrakcyjnych w Kolejnictwie	152
18.	Vadym Ostapchuk, Dmytro Reut, Oleksandr Naumchuk Google Cloud Vision using in the automatic sorting system	158
19.	Dominika Pruś, Monika Stoma Możliwości zastosowania sztucznej inteligencji w różnych obszarach życia społeczeństwa	162
20.	Piotr Bosacki Zastosowanie zegara astronomicznego w sterowaniu oświetleniem dekoracyjnym domu	171
21.	Aleksandra Wilczyńska, Maciej Szypulski, Dawid Zarzeczny Opracowanie technologii kondensatorów cienkowarstwowych na podłożu biokompatybilnym	184

Szanowni Czytelnicy,

Oto przed Wami kolejny, szósty tom zebranych publikacji, których w głównej mierze autorami są studenci studiów magisterskich kierunku Elektrotechnika prowadzonego przez Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Tym razem aktualny zbiór artykułów w większości jest autorstwa studentów ze studiów niestacjonarnych. Zebrane referaty są wynikiem realizowanego modułu „Metodologia badań naukowych”. Tematyka zajęć oparta jest na doświadczeniach kadry akademickiej.

Zebrane w tym tomie materiały, to ponownie efekt pracy własnej studentów, a działania zachęcające studentów do publikowania są wymiernym elementem ciągłego podnoszenia jakości kształcenia przez Wydział, powiązanego z rynkiem pracy, gospodarką opartą na wiedzy jak i profilem ogólnoakademickim. Na końcu, gościnie w tomie zamieszczono prace studentów zaprezentowane w ramach studenckiego Sympozjum Elektryków i Informatyków SNEiI2020.

Zredagowane w publikacji materiały mają szeroki zakres tematyczny. Znajdziemy tu prace o charakterze teoretycznym, przeglądowym, opracowane zadania projektowe i wyniki badań własnych na autorskich modelach i stanowiskach laboratoryjnych. Różnorodność tematyczna referatów jest dużą zaletą, a jednocześnie jest dowodem na szeroki obszar zastosowań elektrotechniki i elektrotechnologii. W aktualnym tomie zaobserwować można zainteresowanie studentów elektrotechnologiami z zakresu instalacji budynkowych, aplikacji sterowania układami i urządzeniami, aplikacyjności elektroniki.

Powstały materiał to efekt wdrażania studentów do świata nauki. Dostarczone przez studentów materiały przechodzą pełny cykl wydawniczy. Studenci przeprowadzają badania i analizy, przygotowują tekst naukowy, który kolejno przechodzi w pierwszej fazie recenzję edycyjną, a następnie merytoryczną. Wiele dostarczonych materiałów nie spełnia wymagań aby zostać opublikowanymi. Zgodnie z akademickimi zasadami i w trosce o jakość do publikacji dopuszczono co trzecią pracę. To również jest doświadczenie dla naszych studentów.

Artykuły zawarte w publikacji przeznaczone są dla studentów studiów kierunku Elektrotechnika w Politechnice Lubelskiej. Są wsparciem dla realizowanych modułów Elektrotechnologie, Metodologia badań naukowych oraz proseminariów. Mam jednak nadzieję – wraz z autorami referatów, że z zebranych materiałów będą również korzystać inni studenci, pokrewnych kierunków i na różnych stopniach.

P. A. Mazurek

PROJEKT AUTOMATYKI BUDYNKOWEJ W OPARCIU O SYSTEM ECOSTRUXURE

WSTĘP

W dzisiejszych czasach szybko rozwijającym się nurtem jest automatyka budynkowa znana także jako BMS (ang. Building Management System). Głównymi zaletami tego typu systemu jest oszczędność, czyli minimalizacja kosztów eksploatacji, bezpieczeństwo oraz komfort osób przebywających w budynku. Obiekt wyposażony w system BMS jest w stanie gromadzić informacje na temat wszystkich instalacji znajdujących się na budynku, a także warunków panujących wewnątrz, jak i poza obiektem. Każdej zmianie zaobserwowanej przez system towarzyszy odpowiednia reakcja zmieniająca układ tak, by zadbać o wspomniane wcześniej bezpieczeństwo i komfort. W głównej mierze BMS skupia się na funkcjonowaniu instalacji elektrycznej, wentylacyjnej oraz grzewczej. W celu realizacji całego systemu ciekawą ofertę zintegrowanego systemu zarządzania posiada Schneider Electric, a jest nim EcoStruxure Building Operation.

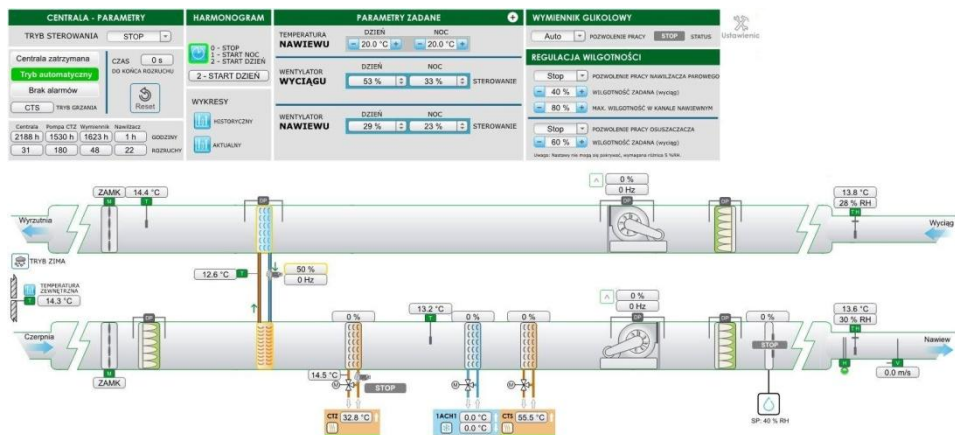
INSTALACJA HVAC

Zintegrowany system wentylacji, ogrzewania oraz klimatyzacji potocznie nazywany jest systemem HVAC (ang. Heating, Ventilation, Air Conditioning). Jest to jedna z najważniejszych instalacji obsługiwanych przez system BMS. Dzięki odpowiedniemu zarządzaniu systemem HVAC możliwe jest wprowadzenie największych oszczędności.

Podstawowym zadaniem tej instalacji jest wstępna lub właściwa obróbka powietrza dostarczonego do budynku. Dzieje się to najczęściej za pośrednictwem centrali wentylacyjnej. System BMS po zebraniu informacji o warunkach panujących na zewnątrz oraz wewnątrz obiektu, odpowiednio steruje centralą tak by dostarczyć odpowiednią ilość energii cieplnej oraz zapewnić optymalne warunki wewnątrz budynku [3].

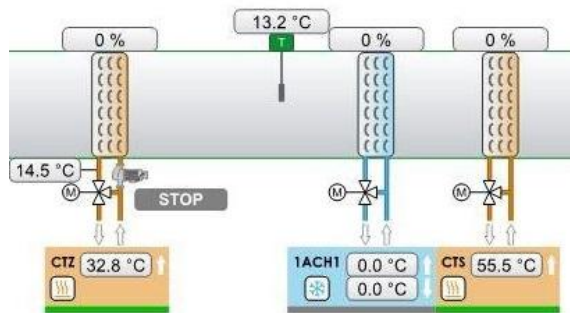
Na rysunku 1 ukazany został schemat poglądowy centrali wentylacyjnej. Składa się ona z filtrów kieszeniowych, zespołów nagrzewnic i chłodnic, wymiennika glikolowego, silnika nawiewnego i wyciągowego, nawilzacza oraz kilku czujników pomiarowych.

¹Politechnika Lubelska, WEiI, pawel.wronski@pollub.edu.pl



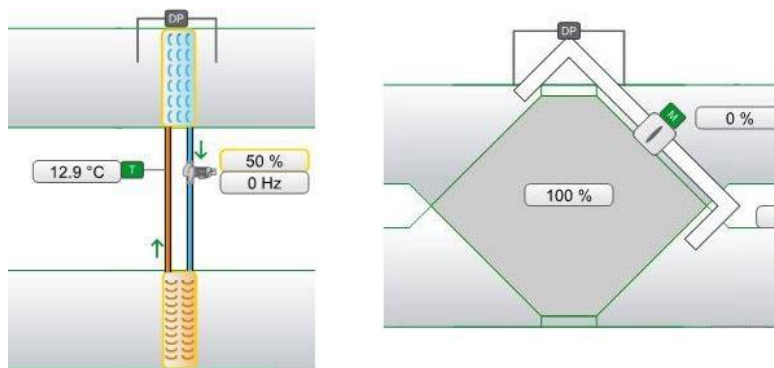
Rys. 1. Schemat technologiczny centrali wentylacyjnej wykonany w systemie SBO

Jeżeli temperatura na zewnątrz maleje straty ciepła przez ściany rosną, przez co temperatura w budynku spada. W przypadku wystąpienia takiej sytuacji, na rysunku 2 zaprojektowana została nagrzewnica wodna. Zwiększenie jej wydajności za pomocą pompy obiegowej orazysterowanego siłownika zaworu trójdrożnego pozwoli uzupełnić ubytki ciepła w budynku. Kiedy temperatura na zewnątrz wzrasta, ciepło z otoczenia oraz ze środka budynku kumuluje się, co powoduje wzrost temperatury w obiekcie. Nadwyżkę tej energii termicznej odprowadza instalacja chłodząca.



Rys. 2. Zespół dwóch nagrzewnic oraz chłodnicy wykonany w systemie SBO

Na rysunku 2 pokazany został zespół dwóch nagrzewnic i jednej chłodnicy. Celem tego systemu jest możliwość osuszania powietrza, jeżeli wilgotność na zewnątrz jest nieodpowiednia. Wstępne ogrzanie powietrza, a następnie jego nagłe ochłodzenie powoduje skroplenie nadmiaru wilgoci zawartej w powietrzu. W przypadku gdy wilgotność powietrza jest niewystarczająca możliwe jest jego nawilżenie. W tym celu stosuje się nawilzacze parowe.



Rys. 3. Wymiennik glikolowy oraz wymiennik krzyżowy wykonany w systemie SBO

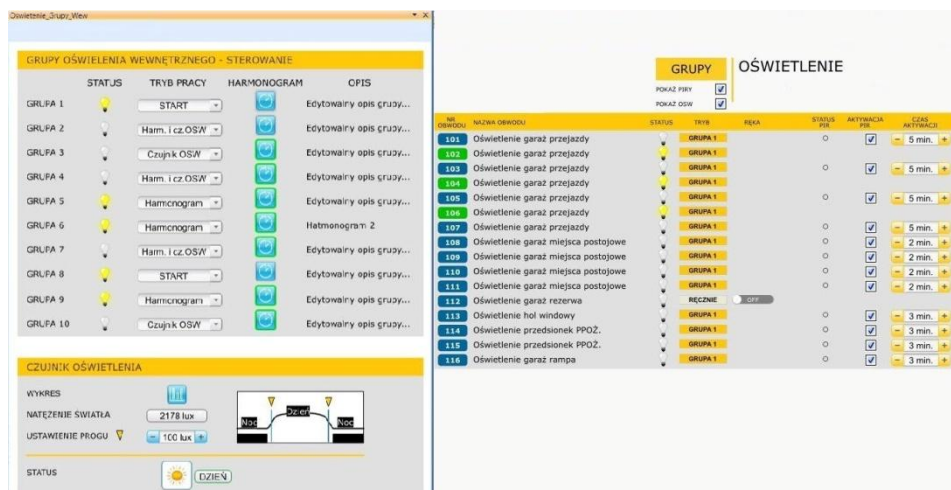
Istotnym elementem centrali wentylacyjnej jest odzysk ciepła. Na rysunku 3 przedstawiony został po lewej stronie wymiennik glikolowy, który zapewnia pełne odizolowanie powietrza wyciąganego od nawiewanego. Po prawej stronie rysunku 3 znajduje się wymiennik krzyżowy. Jest on tańszym rozwiązaniem, w którym za wymianę odpowiadają faliste aluminiowe płyty. Wymienniki zapewniają dużą oszczędność energii cieplnej, która odzyskiwana jest z powietrza wyciąganego z budynku. Możliwa jest pełna regulacja wymienników przy pomocy pomp obiegowych lub zwykłych przepustnic.

Zastosowanie filtrów kieszeniowych pozwala na wstępne oczyszczenie powietrza. Za odpowiednią cyrkulację powietrza odpowiadają silniki, które sterowane są poprzez przemienniki częstotliwości.

INSTALACJA OŚWIETLENIA

Istotnym elementem każdego budynku jest instalacja oświetlenia. Według prowadzonych statystyk to właśnie tutaj generowane jest 40% rocznych kosztów energii. Warto jest zatem szukać oszczędności w tym aspekcie. Jednym ze sposobów minimalizacji kosztów jest stosowanie wyłączników dzwonekowych połączonych z przekaźnikami bistabilnymi. System BMS po upływie zadanego czasu samoczynnie wyłączy oświetlenie. Innym sposobem jest montaż czujników PIR (ang. Passive Infrared sensors), które wykrywają ruch dzięki precyzyjnemu pomiarowi temperatury [2].

Opłacalnym zabiegiem w sterowaniu oświetleniem jest grupowanie określonych obwodów oświetleniowych. Po prawej stronie rysunku 4 pokazany został główny panel sterowania oświetleniem. Na tym panelu możliwe jest wybranie odpowiedniej grupy dla każdego z obwodów oświetleniowych.



Rys. 4. Przykładowa grafika systemu SBO z funkcjonalnością sterowania oświetleniem

Po kliknięciu w pole „GRUPY” pojawia się okno pokazane na lewej części rysunku 4. W tym oknie należy dobrać odpowiedni tryb pracy grupy. W powyższym przypadku użytkownik ma możliwość sterowania oświetleniem: według założonego wcześniej harmonogramu, samoczynnie po aktywacji wspomnianego czujnika PIR lub na stałe, jeśli jest taka potrzeba. W tym samym oknie na rysunku 4 wyświetlone zostało natężenie światła panujące na zewnątrz budynku. Umożliwia to dobranie odpowiedniego natężenia światła wewnątrz obiektu podnosząc komfort użytkownika budynku oraz minimalizując pobór energii. Indywidualna modyfikacja sterowania każdego obwodu oświetleniowego odbywa się w panelu głównym pokazanym po prawej stronie rysunku 4.

STEROWNIKI ECOSTRUXURE™ BUILDING OPERATION

Na etapie projektowania instalacji BMS istotnym jest dobór odpowiednich sterowników, umożliwiających pełną kontrolę nad elementami wykonawczymi znajdującymi się na budynku, a także posiadających przyjazne środowisko programowania. W swojej ofercie takie sterowniki posiada firma Schneider Electric, a jest nim seria produktów EcoStruxure Building Operation. Ten zintegrowany system zarządzania budynkiem BMS, umożliwia monitorowanie, wykonywanie pomiarów oraz optymalizację pracy instalacji technicznych budynku w całym okresie jego eksploatacji, zapewniając oszczędność energii i pieniędzy.

Na rysunku 5 znajduje się zasilacz PS-24V, serwer automatyki (AS) oraz moduły wejść-wyjść. Na uwagę zasługuje serwer automatyki potocznie zwany AS, który jest rdzeniem systemu BMS. Realizuje on sterowanie logiczne, nadzór nad alarmami oraz obsługa komunikacji z modułami wejść-wyjść.

StruxureWare™ for Buildings

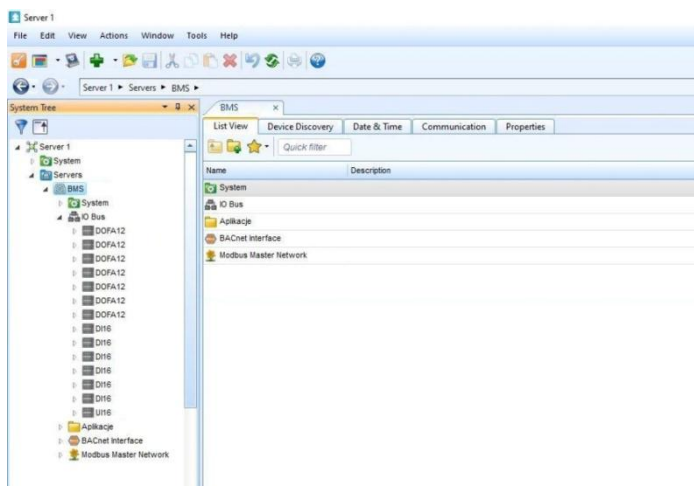
Next generation intelligent
Building Management System (iBMS)



Rys. 5. Zasilacz, sterownik oraz moduły I/O

W średnich i dużych instalacjach sterowaniem zajmuje się kilka serwerów automatyki, komunikujących się między sobą po protokole TCP/IP. AS posiada porty Ethernet, port serwisowy USB, porty RS-485 oraz wbudowany port szyny We/Wy. Wspomniany port serwisowy USB pozwala na wgranie softu, a także wstępną konfigurację urządzenia. Port RS-485 umożliwia integrację sieci Modbus lub BACnet MS/TP.

Konfiguracja oraz programowanie nie byłoby możliwe bez odpowiedniego oprogramowania. Device administrator jest programem, w którym możliwe jest wgranie nowej bazy danych oraz konfiguracja urządzenia np. nadanie adresu IP. Wszystkie operacje związane z tworzeniem grafik, programowaniem lub dodawaniem modułów We/Wy wykonywane są w oprogramowaniu WorkStation.



Rys. 6. Główny interfejs programu WorkStation

PROGRAMOWANIE

[illegible]

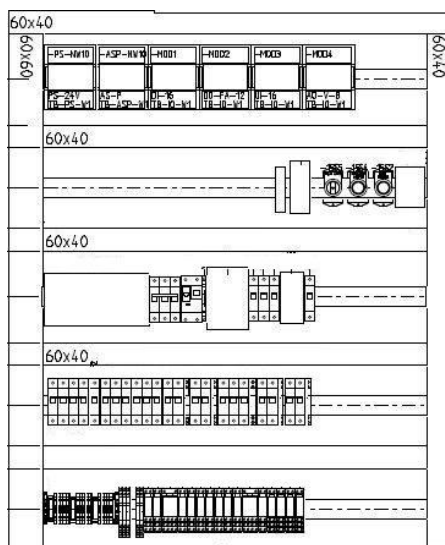
Rys. 7. Aplikacja wykonana w języku schematów blokowych

14

należy go zatrzymać i zasygnalizować stan awarii. Cechą tego typu języków jest możliwość monitorowania tego jak wykonuje się zaprogramowana aplikacja. Kiedy jeden z blozków sygnalizuje zadziałanie, skutkuje to pogrubieniem linii łączącej ten blok z kolejnym.

SZAFY STEROWNICZE AUTOMATYKI

Sterowanie urządzeniami wykonawczymi oraz monitoring sygnałów z budynku nie jest możliwe przy pomocy tylko zaprogramowanego sterownika. Istotnym jest zaprojektowanie szafy automatyki, która jest sposobem na uporządkowanie aparatury, okablowania oraz urządzeń elektrycznych.



Rys. 8. Zabudowa szafy automatyki wykonana w programie SEE electrical

Na rynku znajdują się oprogramowania wspomagające inżyniera w projektowaniu szaf automatyki, a są nimi np. PCSchematic lub SEE electrical. Na rysunku 8 zaprojektowana została aparatura elektryczna umożliwiająca niezbędną pracę sterownika w instalacji BMS. W górnej części zabudowy szafy znajdują się wspomniane moduły We/Wy, serwer automatyki oraz dedykowany zasilacz PS-24V. Poniżej znajdują się lampki sygnalizujące np. pracę centrali wentylacyjnej lub jej awarię. Projektuje się również przelącznik umożliwiający wyłącznie pracy programu. Istotnym elementem szafy sterowniczej jest aparatura zabezpieczająca zasilanie serwera automatyki i urządzeń wykonawczych na obiekcie. Do aparatury zabezpieczającej należą np.: wyłączniki nadprądowe, wyłączniki różnicowo-prądowe lub wyłączniki bezpiecznikowe. Zasilacz serwera automatyki oraz inne urządzenia bardzo często wymagają obniżonego napięcia równego 24VAC. W tym celu w szafach projektuje się transformatory 24V zasilające serwer automatyki, przekaźniki znajdujące się wewnątrz szafy ste-

rowniczej, czujniki oraz niektóre akulatory zamontowane na obiekcie (np. siłowniki).

Ważnym elementem sterownia są wspomniane przekaźniki. Ich głównym zadaniem jest separacja pomiędzy sekcją sterowania i przełączania. Przekaźniki pozwalają także na przełączanie obciążeń dużej mocy z wysokim napięciem i prądem o dużym natężeniu.

Ostatnim elementarnym elementem szafy sterowniczej są złączki kablowe. Dostępne są złączki oparte na mechanizmie sprężynowym, samozaciskowe ze sprężyną oraz najpopularniejsze bazujące na połączeniu śrubowym. Dzięki nim zachowany jest porządek okablowania. Cała aparatura wspomniana w tym rozdziale najczęściej montowana jest w szafie przy użyciu szyny DIN. Z tego powodu cała aparatura musi być dostosowana do tego typu montażu, o czym należy pamiętać przy doborze odpowiedniej aparatury [1].

WNIOSKI

W dzisiejszych czasach inżynierowie automatyki budynkowej dążą do zapewnienia komfortu użytkowników inteligentnego budynku, minimalizacji kosztów eksploatacji takiego obiektu, a także dobraniu odpowiedniego środowiska programistycznego. Wybór odpowiednich sterowników ma istotny wpływ na czas tworzenia projektu, łatwość projektowania oraz możliwości wprowadzania ciągłych udoskonaleń lub serwisowanie instalacji.

Odpowiedni dobór języka programowania również wpływa na czas tworzenia aplikacji. Zastosowanie języka schematów blokowych pozwala zachować pełną przejrzystość programu bez uciążliwego dbania o składnię kodu programowania, która występuje w językach skryptowych. Stosowanie schematu blokowego umożliwia podgląd wykonywania programu co pozwala na łatwą diagnozę występujących błędów w sterowaniu. Na tym etapie należy również pamiętać o wszystkich zabiegach programistycznych wpływających bezpośrednio na koszty przyszłej eksploatacji instalacji, które są sednem tworzenia inteligentnego budynku.

LITERATURA

- [1] Przekaźniki – podstawowe informacje, poradnik Relpol S.A, 2020
- [2] Duszczyk K., Dubrawski A., Dubrawski A., Pawlik M., Szafrński M., Inteligentny budynek. Poradnik projektanta instalatora i użytkownika. Wydawnictwo Naukowe PWN
- [3] Charkowska A., Wentylacja hal produkcyjnych – wymagania, Wentylacja wywiewna i nawiewna, www.muratorplus.pl, dostęp 04.03.2019.
- [4] Kaiser K., Wentylacja przemysłowa – rozwiązania, „Chłodnictwo i klimatyzacja”, Nr 7, 2017

OPRACOWANIE I BADANIA SYMULACYJNE MODELU MAŁEJ ELEKTROWNI ZE ŹRÓDŁAMI FOTOWOLTAICZNYM

WSTĘP

Gwałtowny rozwój przemysłu i nowoczesnych technologii, wpłynął na wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Model małej elektrowni mógłby służyć dla potrzeb konsumenckich. W Polsce małe elektrownie stają się coraz bardziej powszechne. Główną zaletą elektrowni fotowoltaicznych jest dofinansowanie z Unii Europejskiej, od 2019 roku instalację fotowoltaiczną można odliczyć od podatku oraz instalacja fotowoltaiczna może podnieść wartość nieruchomości.

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki symulacji dla różnych częstotliwości pracujących w układzie przekształtników DC/DC i DC/AC. Przedstawiono wyniki obciążenia i sprawności, jak wpływają na układ PV-PE.

OGNIWA FOTOWOLTAICZNE (PV)

Komórki fotowoltaiczne zbudowane są z płytek krzemu. Ich powierzchnię stanowią różne domieszki – tworzące strefy n i p. Na granicy tych dwóch złączy pojawia się pole elektryczne.

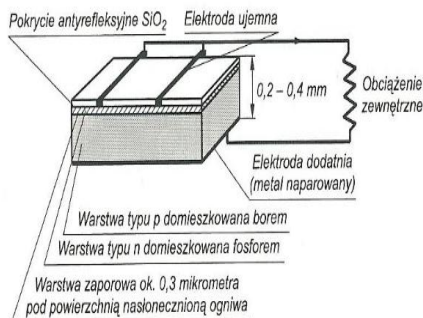
Foton padając na płytkę krzemową może uwolnić elektron; tworząc jednocześnie parę elektron - dziura. Elektron po uzyskaniu należytej energii może przenieść się w kierunku łącza np. w którym pole elektryczne nakierowuje go do strefy n. Pomiedzy bokami płytki n i p powstaje napięcie. W ten sposób pod wpływem działaniem światła, płytka ta staje się generatorem prądu elektrycznego. Gdy brak jest oświetlenia, płytka stanowi element pasywny. Siatki metalowe na ściankach płytki pełnią rolę elektrod obierających prąd [1].

Budowę ogniwa krzemowego pokazano na rys. 1. Ogniwo, w którym dwie warstwy n i p zbudowane z jednakowego materiału (np. z nieparzystego krystalu krzemu) zwane są ogniwami monokrystalicznymi o homozłączu p-n (tzn. dwie konstrukcje p i n zbudowane z takiego samego półprzewodnika). Ogniwo wykonane z kilku krystalów tego samego surowca zwane są ogniwami polikrystalicznymi z homozłączem, zaś kiedy warstwy p i n są zbudowane z wielu krystalów innych surowców - ogniwami polikrystalicznymi z hetero-złączem.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, chomik.wojciech@gmail.com

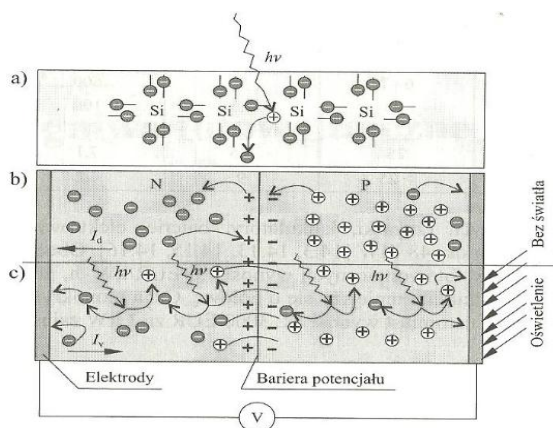
² Politechnika Lubelska, WEiI, dudlo.damian@gmail.com

Możliwa jest budowa ogniw z materiałów niemającej budowy krystalicznej, takie ogniwa zwane są amorficznymi [2].



Rys. 1. Model układu monokrystalicznego ogniw krzemowego typu n-p [2]

Energia promieniowania głównie w obszarze widzialnego światła skutkuje wybiciem w półprzewodniki elektronów z pasma walencyjnego na poziom przewodnictwa. W obszarze wybitego wiązania sieci krystalicznej elektronu (-) powstaje dziura (+). Dziura jest rekombinowana elektronem z przyległego węzła sieci krystalicznej, która tworzy nową dziurę. Przewodniki typu p stanowią większość dziur, a w półprzewodnikach n większość jest elektronów. Atomy w charakterze donorów (np. fosfor – typ n) lub akceptorów (np. bor – typ p) wprowadza się do struktury krystalicznego materiału bazowego np. krzemu. Na zetknięciu się dwóch półprzewodników powstaje bariera zaporowa, w rezultacie pierwotnej rekombinacji – ujemna w obszarze typu p i dodatniej warstwie typu n. Brak światła powoduje, że dziury wędrują na lewo i płynie mały wsteczny prąd dyfuzyjny I_d [3].



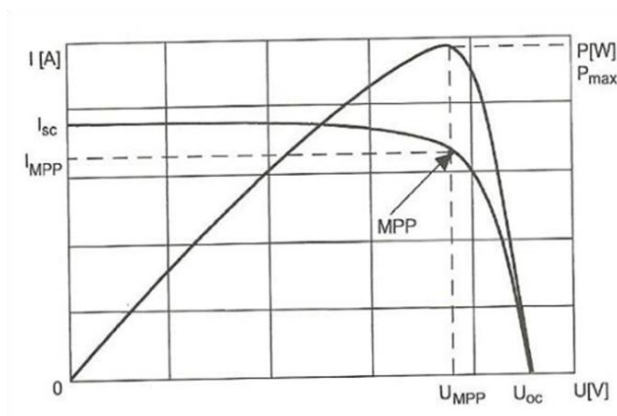
Rys. 2. Proces fotowoltaiczny: a) mechanizm powstania dziury, b) wsteczny prąd szczątkowy dyfuzyjny (bez światła), c) przepływ prądu (oświetlenie) [3]

Fotony padające na złączkę pn o energii większej od szerokość odstepu półprzewodnika energetycznego, tworzą w tym miejscu parę elektron – dziura (”-” oraz ”+”). Prąd elektryczny wokół półprzewodnika popycha nośniki różnych znaków w przeciwnym kierunku: dziury do obszaru p, a elektrony do obszaru n, co skutkuje tworzeniem zewnętrznego napięcia elektrycznego na styku – efekt fotowoltaiczny. Rozłączone ładunki są nośnikami nadmiarowymi o bezgranicznym okresie żywotności. Na styku pn napięcie jest stałe i złącze działa, jako ogniwo elektryczne. Zjawisko tego mechanizmu w następstwie, którego płynie prąd w fotoogniwie przedstawia rys. 2 [3].

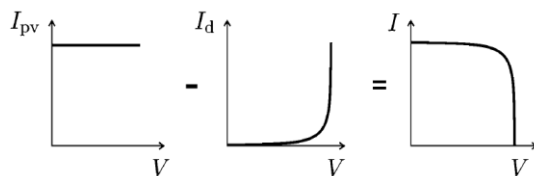
CHARAKTERYSTYKA OGNIW (PV)

Wykres ogniwa PV to natężenie prądu wyjściowego generatora fotowoltaicznego w funkcji napięcia w konkretnej temperaturze i natężeniu promieniowania. Specyficzne punkty krzywej $I=f(U)$ zaznaczono na rys. 3:

- napięcie otwarte obwodu (U_{oc}) – to napięcie na zakończeniach nieobciążonego generatora fotowoltaicznego w konkretnej temperaturze i natężeniu promieniowania,
- prąd zwarcia (I_{sc}) – prąd wyjściowego generatora fotowoltaicznego w warunkach zwarcia w określonej temperaturze i przy konkretnym natężeniu promieniowania,
- MPP – punkt maksymalnej mocy i odpowiadające mu współrzędne: U_{MPP} i I_{MPP} ,
- U_{MPP} – napięcie w punkcie mocy maksymalnej.,
- I_{MPP} – prąd w punkcie mocy maksymalnej [4].



Rys. 3. Charakterystyka prądowo – napięciowa oraz mocy ogniwa fotowoltaicznego w funkcji napięcia dla trzech punktów: zwarcie ($0, I_{sc}$), MPP(V_{mp}, I_{mp}) oraz napięcie obwód otwarty ($V_{oc}, 0$) [4]



Rys. 4. Charakterystyka I - V ogniwa jako wynik różnicy fotoprądu i wartości prądu z charakterystykami ciemnej ogniwa [5]

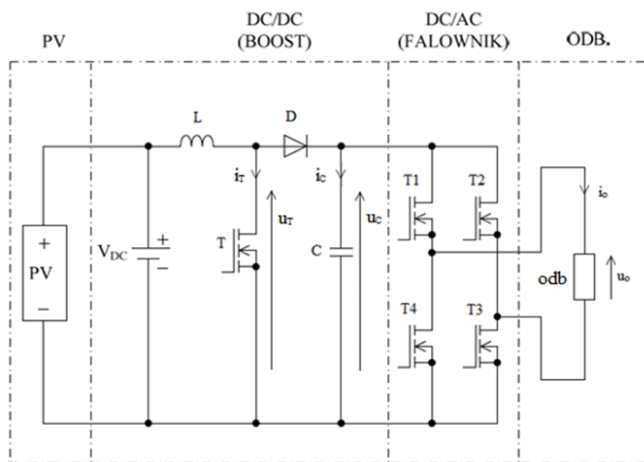
Przekształtniki energoelektroniczne ogniw (PE) to przekształtniki tranzystorowe są układami przetwarzającymi:

- DC/DC napięcie stałe na napięcie stałe o innych parametrach – nazywane przekształtnikami,
- DC/AC napięcie stałe na napięcie przemienne – nazywane falownikami [6].

BADANIE UKŁADU PV-PE

Symulację układu wykonano wykorzystując program Simulink. Model symulacyjny panelu PV opracowano wykorzystując wzory matematyczne zbudowane w programie SIMULINK.

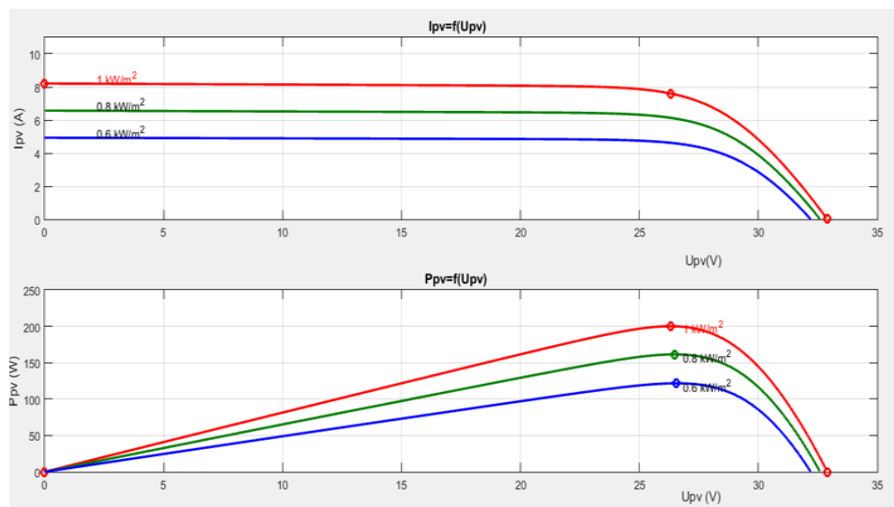
W pracy został użyty falownik z czterema tranzystorami MOSFET oraz generatorem impulsów oznaczonym na rys. 5 pracującym przy częstotliwości $f_i = 50$ oraz 1000 Hz.



Rys.5. Schemat ideowy badanego systemu z wykorzystaniem energii słonecznej [7]

W celu uzyskania energii elektrycznej ze źródła U_{dc} do wymagającego poziomu zastosowaliśmy przekształtnik DC/DC podwyższający napięcie i generatora impulsów pracujący przy częstotliwości $f = 5, 10$ i 20 kHz. Zastosowano napięcie wyjściowe panelu $U_{dc} = 32,9$ V.

SYMULACJA PV

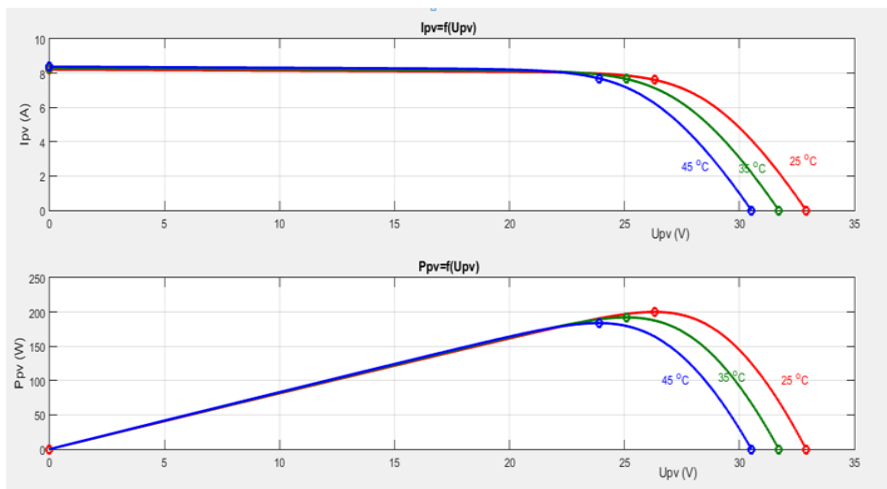


Rys.6. Charakterystyka $I_{pv} = f(U_{pv})$, $P_{pv} = f(U_{pv})$ przy temp 25°C dla: 1000, 800, 600 W/m^2

Na rys. 6 (górny) przedstawiono wykres symulacji modelu panelu fotowoltaicznego dla $I_{pv} = f(U_{pv})$, $P_{pv} = f(U_{pv})$ przy zmieniających się warunkach nasłonecznienia dla 1000, 800, 600 W/m^2 i temperaturze 25°C. Na rys. 6 (dolny) przy zwiększającym się nasłonecznieniu następuje wzrost prądu zwarcia ogniwa, co implikuje wzrost mocy. Ze wzrostem nasłonecznienia zmianie ulegają: prąd zwarcia, który wzrasta (rzędu 1%), moc maksymalna, ulegająca zmniejszeniu (rzędu 0,4%). Przy zmiennym nasłonecznieniu krzywa charakterystyk panelu PV wykazuje znaczne wahania natężenia prądu i jednocześnie niewielkie wahania mocy, przy stałym napięciu $U_{dc} = 32,9V$.

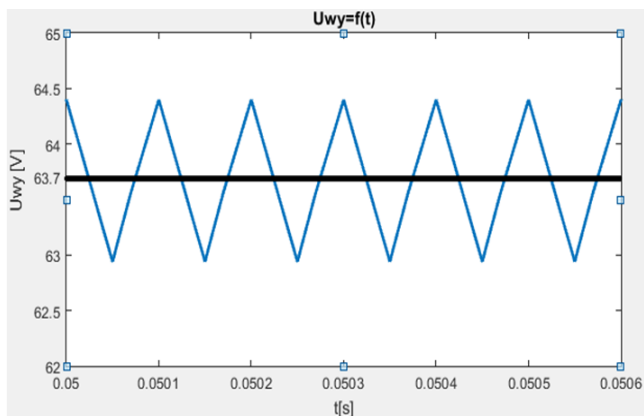
Na rys. 7 przedstawiono wpływ temperatury dla: 25, 35, 45°C przy nasłonecznieniu 1000 $[W/m^2]$ na charakterystyki $I_{pv} = f(U_{pv})$, $P_{pv} = f(U_{pv})$. Wraz ze wzrostem temperatury obniża się napięcie obwodu otwartego ogniwa fotowoltaicznego, nie zmienia się zaś prawie wartość prądu zwarcia, co objawia się w rzeczywistości zmniejszeniem mocy ogniwa.

Ze wzrostem temperatury zmianie ulegają: napięcie obwodu otwartego - malejąc (rzędu 0,5 V), moc maksymalna, która zmniejsza się (rzędu 0,4%). Przy wzroście temperatury powyżej 25°C napięcie modułu przesuwają się o 0,5 V w lewo, a przy spadku temperatury 0,5 V w prawo. Wzrost temperatury wyraźnie pokazuje, że każde znaczące odejście od napięcia w punkcie mocy maksymalnej zarówno w lewo jak i prawo powoduje znaczny spadek mocy maksymalnej panelu fotowoltaicznego.



Rys.7. Charakterystyka $I_{pv} = f(U_{pv})$, $P_{pv} = f(U_{pv})$ przy nasłonecznieniu: $1000 [W/m^2]$ dla temperatur $25, 35, 45^\circ C$

Z rys. 6 i 7 wynika, iż ma ono tzw. maksymalny punkt mocy (M_{pp}), czyli punkty na charakterystykach, w którym ogniwo produkuje najwięcej mocy przy zadanych warunkach nasłonecznienia i temperatury. Położenie maksymalnego punktu mocy ogniwa na charakterystyce $U-I$ związane jest ściśle z temperaturą źródła oraz natężeniem światła, które na nie pada. Należy zauważyć, że temperatura ma większy wpływ na wartość napięcia, przy jakim M_{pp} wystąpi, natomiast nie ma praktycznie wpływu na wartość prądu charakteryzującego optimum mocy. Zmiany natężenia światła powodują zmiany wartości prądu odbieranego, ale nie mają natomiast większego wpływu na napięcie, przy którym występuje maksimum mocy. Aby zwiększyć wydajność ogniwa należy obciążyć je taką wartością rezystancji, dla której występuje M_{pp} .

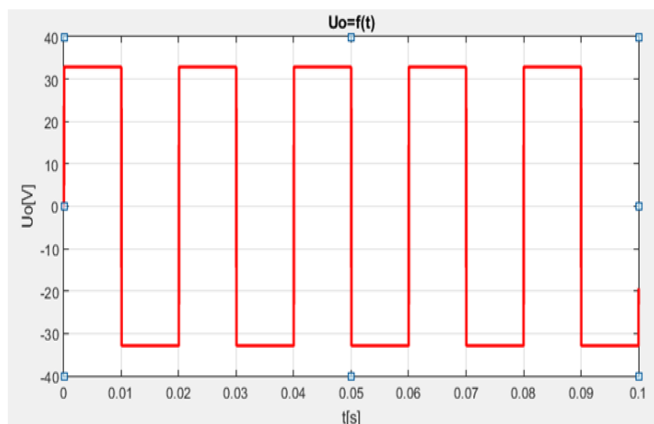


Rys.8. Napięcie wyjściowe $U_{wy} = f(t)$ przekształtnika DC/DC dla: $f=10 \text{ kHz}$, $R = 10 \Omega$, $L=1 \text{ mH}$

Rys. 8 ukazuje napięcie wyjściowe $U_{wy} = f(t)$ przekształtnika DC/DC dla: $f = 10 \text{ kHz}$, obciążanego $R = 10 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$. Przebieg ma kształt trójkątny. Ze względu, że jest to napięcie na kondensatorze, który jest ładowany i rozładowywany. Wartość napięcia na przekształtniku jest podwyższana z napięcia $U_{dc} = 32,9 \text{ V}$ z panelu fotowoltaicznego do wartości średniej $63,7$ oscylującej max. $64,4$ min. $62,9$ przy częstotliwości 10 kHz .

SYMULACJA PRACY PRZEKSZTAŁTNIKA DC/AC

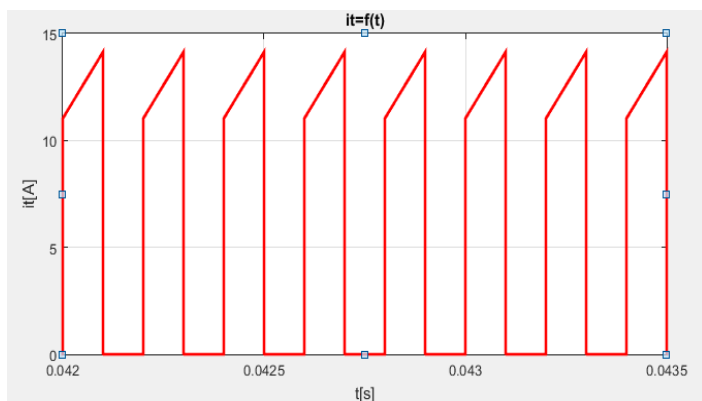
Rysunek 9 przedstawia napięcie wyjściowe $U_o = f(t)$ falownika DC/AC dla: $f_i = 50 \text{ Hz}$, obciążenia $R = 10 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$. Przebieg jest prostokątny. Na rysunku widać natychmiastowy skok przepływu napięcia do wartości $U_{dc} = 32,9 \text{ V}$ panelu fotowoltaicznego. Z upływem czasu $0,1 \text{ s}$ następuje przeskok do wartości ujemnej $32,9 \text{ V}$, aż do momentu gdy program się zatrzyma. Falownik pracuje przy częstotliwości 50 Hz , czyli przy częstotliwości domowej.



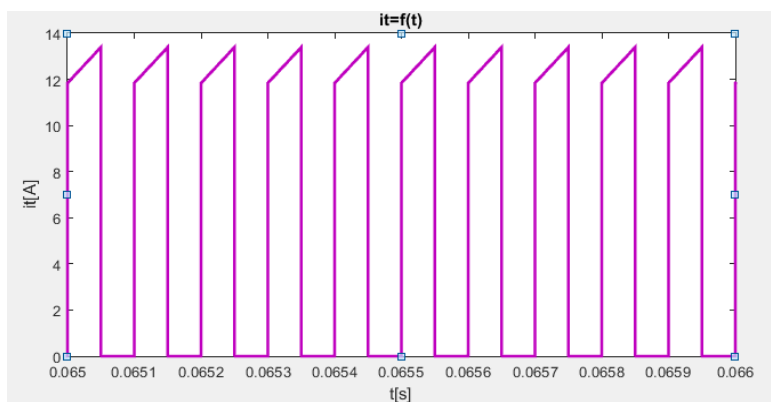
Rys.9. Przebieg napięcia wyjściowego przekształtnika DC/AC dla: $f = 50 \text{ Hz}$, $R = 10 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$

SYMULACJA PRACY UKŁADU PV-PE

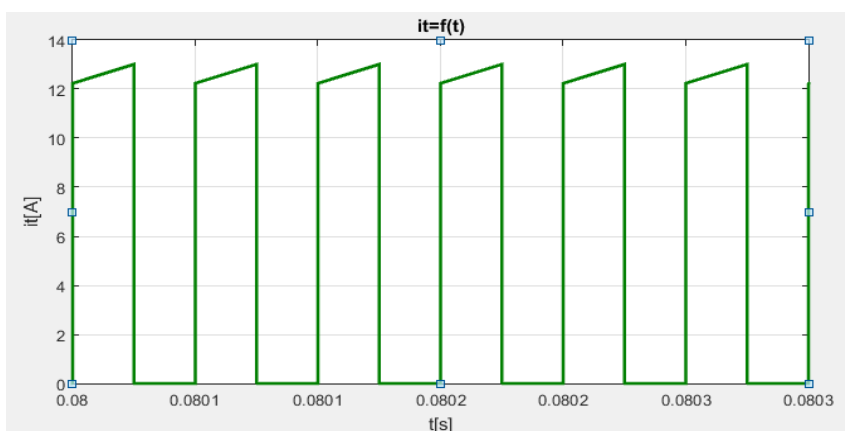
Przebiegi układu pracy PV-PE prądu tranzystora kluczującego przekształtnika DC/DC obciążanego $R = 10 \Omega$ dla różnych częstotliwości pracy przekształtnika DC/DC $f = 5, 10$ i 20 kHz oraz falownika $f_i = 50$ i 1000 Hz . Napięcie wyjściowe panelu $U_{dc} = 32,9 \text{ V}$.



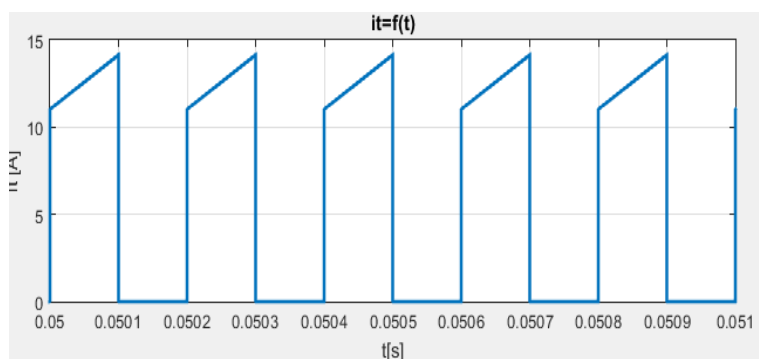
Rys.10. Prąd tranzystora kluczującego przekształtnik DC/DC dla $f = 5$ kHz, $f_i = 50$ Hz, $R = 10 \Omega$



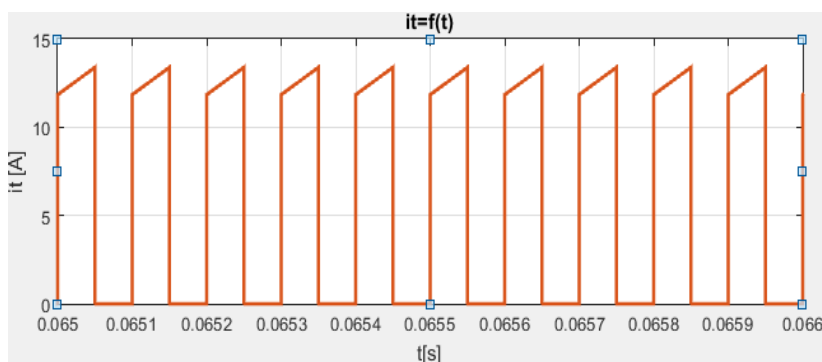
Rys.11. Prąd tranzystora kluczującego przekształtnik DC/DC dla $f = 10$ kHz, $f_i = 50$ Hz, $R = 10 \Omega$



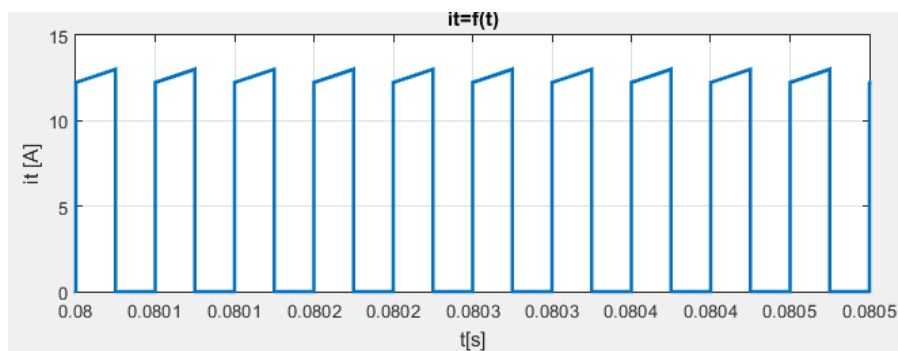
Rys.12. Prąd tranzystora kluczującego przekształtnik DC/DC dla $f = 20$ kHz, $f_i = 50$ Hz, $R = 10 \Omega$



Rys.13. Prąd tranzystora kluczującego przekształtnika DC/DC dla $f = 5 \text{ kHz}$, $f_i = 1 \text{ kHz}$, $R = 10 \Omega$



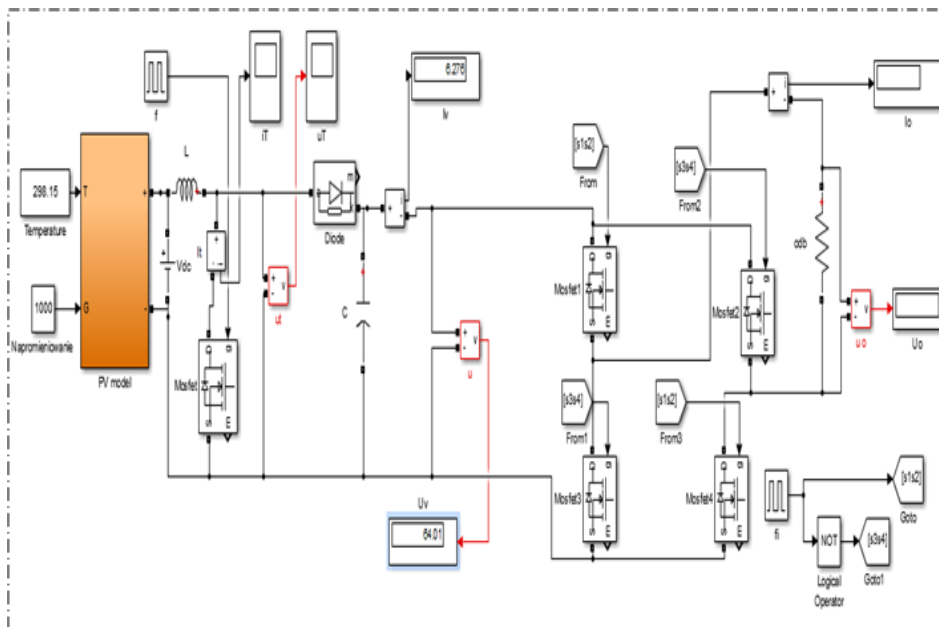
Rys.14. Prąd tranzystora kluczującego przekształtnika DC/DC dla $f = 10 \text{ kHz}$, $f_i = 1 \text{ kHz}$, $R = 10 \Omega$



Rys.15. Przebieg prądu tranzystora kluczującego przekształtnika DC/DC dla $f = 20 \text{ kHz}$, $f_i = 1 \text{ kHz}$, $R = 10 \Omega$

Z rys. 9 – 15 wynika, że na przebiegach prądu tranzystora kluczującego dla różnych częstotliwości dla układu pracy przekształtnika DC/DC prąd się nie zmienia i jest równy $i_t = 13 \text{ A}$. Widać, że częstotliwość wpływa na czas. Przebiegi te są zgodne z literaturą.

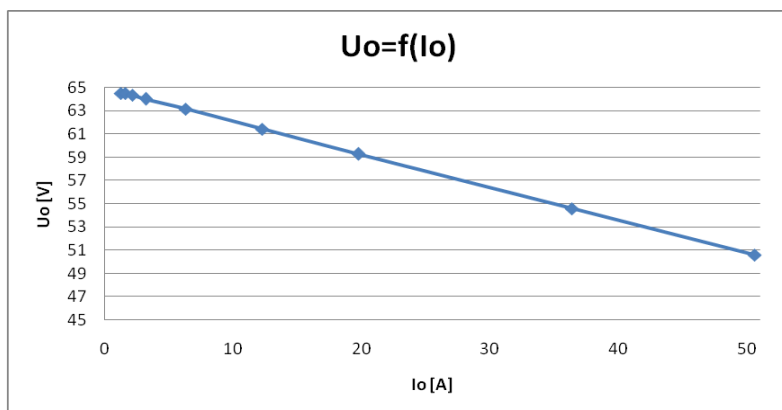
BADANIA SPRAWNOŚCI ENERGETYCZNEJ ORAZ CHARAKTERYSTYK OBciążENIA DLA CAŁEGO UKŁADU PV-PO



Rys.16. Cały układ do badania sprawności oraz obciążenia w programie Matlab-Simulink

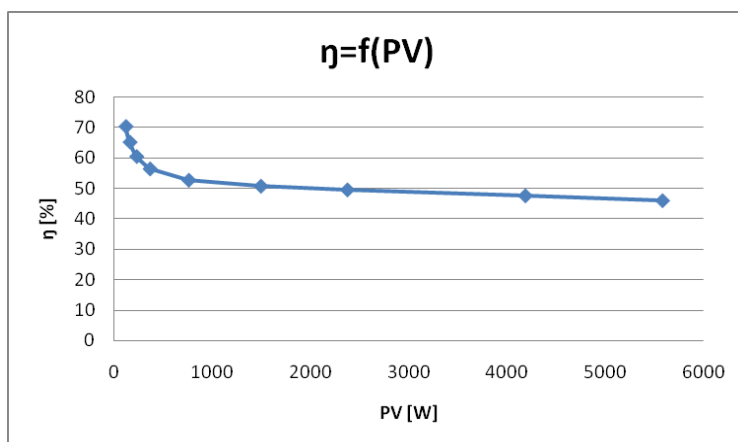
Tabela 1. Wyniki symulacji do określenia sprawności oraz charakterystyki obciążenia całego układu dla przekształtnika DC/DC $f = 10$ kHz, oraz dla falownika $f_i = 50$ Hz, $L = 1$ mH, $C = 220$ μ F, $U_{dc} = 32,9$ V

P_o [W]	P_v [W]	I_o [A]	U_o [A]	I_v [A]	U_v [V]	η [%]	Odb.[Ω]
83,205	118,3978	1,29	64,5	1,826	64,84	70	50
103,845	159,4572	1,61	64,5	2,46	64,82	65	40
137,709	228,0256	2,14	64,35	3,52	64,78	60	30
204,8	363,5016	3,2	64	5,62	64,68	56	20
398,4765	757,4616	6,31	63,15	11,76	64,41	52	10
755,0976	1491,193	12,29	61,44	23,32	63,89	50	5
1172,361	2371,875	19,77	59,3	37,5	63,25	49	3
1986,53	4183,031	36,39	54,59	67,61	61,87	47	1,5
2559,348	5578,035	50,59	50,59	91,88	60,71	45	1



Rys. 17. Charakterystyka obciążenia całego układu $U_o = f(I_o)$

Symulacja obciążenia całego układu przekształtnika DC/DC dla 10 kHz oraz dla falownika 50 Hz przy obciążeniu, $L = 1$ mH, $C = 220$ μ F dla zmieniających się obciążeń od 1 Ω do 50 Ω . Jak widać wraz ze zwiększającym się obciążeniem od 1 do 50 Ω napięcie maleje z 64 do 50 V.



Rys. 18. Charakterystyka sprawności energetycznej całego układu $\eta = f(PV)$

Symulacja sprawności energetycznej przekształtnika DC/DC dla 10 kHz oraz dla falownika 50 Hz przy obciążeniu, $L = 1$ mH, $C = 220$ μ F dla zmieniających się obciążeń od 1 Ω do 50 Ω .

Sprawność panelu z danych katalogowych przy nasłonecznieniu 1000 W/m² i temp. 25°C moc wynosi 200 W. Obliczona wartość mocy wynosi 195 W. Sprawność całego układu PV-PE przy różnych obciążeniach wynosi od 45 do 70%. Widać, że gdy zwiększymy obciążenie od 1 do 50 Ω w naszym panelu fotowoltaicznym moc maleje.

PODSUMOWANIE

W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki symulacji dla różnych częstotliwości pracujących w całym układzie przekształtników DC/DC i DC/AC. Przedstawiono także wyniki obciążenie i sprawności, jak wpływają na cały układ PV–PE. Ukazano symulacje modelu panelu fotowoltaicznego mające na celu pokazać użytkownikowi, przy jakich warunkach temperaturowych i nasłonecznienie panel uzyskuje najlepsze parametry. W pracy przedstawiono wyniki symulacji do określenia sprawności oraz charakterystyki obciążenia. Wyniki symulacji dla różnych częstotliwości pracujących w całym układzie przekształtników DC/DC i DC/AC.

Badany panel fotowoltaiczny wykonany został z krzemu monokrystalicznego. PV potrzebuje powierzchnie $1,5 \text{ m}^2$. Sprawność panelu fotowoltaicznego Kyocera wynosi 16%.

Panel został opracowany programie SIMULINKU zgodnie z zależnościami matematycznymi podanymi w literaturze. W danych katalogowych nie zostały podane wartości rezystancji dla użytkownika. Na podstawie literatury, rezystancja powinny mieć wartości: szeregową R_{sod} 0,05 do 0,1 Ω , równoległą R_{pod} 200 do 300 Ω .

Model przy pełnym nasłonecznieniu 1000 W/m^2 dla temp. 25°C jest w stanie wytworzyć moc 200 W. Napięcie źródła wynosi $U_{\text{dc}} = 32,9 \text{ V}$ po podwyższeniu poziomu napięcia wynosi 64,4 V.

W przekształtniku DC/DC zauważane są oscylacje. Mogą one być związane z obciążeniem RLC, a także wyższymi harmonicznymi.

Podsumowując przeprowadzone symulacje możemy stwierdzić, iż mała elektrownia może służyć dla zastosowań potrzeb konsumenckich.

LITERATURA

- [1] Smoliński S., Fotowoltaiczne źródła energii i ich zastosowanie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1998
- [2] Pluta Z., Słoneczne instalacje energetyczne, Oficyna Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [3] Lewandowski W. M., Proekologiczne odnawialne źródła energii, WNT, Warszawa 2006
- [4] Klugmann-Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wyd. BTC, Legionowo 2010
- [5] Waclawek M., Rodziejewicz T.: Ogniwa słoneczne wpływ środowiska naturalnego na ich prace, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2014
- [6] Borkowski A., Zasilanie urządzeń elektronicznych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990
- [7] Buczek K., Malska W., Penar S., Wykorzystanie programu PSIM do modelowania małej elektrowni słonecznej, Przegląd Elektrotechniczny, 2011, 08, 42–45.

SPOSOBY PODEJMOWANIA DECYZJI W ELEKTROENERGETYCZNEJ AUTOMATYCE ZABEZPIECZENIOWEJ

WSTĘP

Podejmowanie decyzji towarzyszy nam w życiu codziennym na każdym kroku. W zależności od dostępnego czasu oraz różnych czynników zewnętrznych dokonanie najkorzystniejszego wyboru spośród dostępnych rozwiązań może spowodować wiele trudności. Decyzja często wiąże się z możliwością popełnienia błędu, od którego może zależeć bezpieczeństwo ludzi lub obiektów. Coraz częściej decyzje podejmowane są za pomocą zaawansowanych układów sterowania zaprojektowanych przez człowieka. W poniższym artykule postaram się przedstawić aktualne rozwiązania dotyczące sposobów podejmowania decyzji w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej.

Układy zabezpieczeniowe w elektroenergetyce w coraz szerszym zakresie korzystają z technik cyfrowych. W stosunku do zabezpieczeniowych jednostek elementarnych odnosi się to głównie do wąskopasmowej filtracji cyfrowej, podejmowania decyzji w oparciu o sformułowane kryteria oraz tworzenia końcowych decyzji i ich dystrybucji na podstawie struktur logicznych (np. sieci neuronowe). W odniesieniu do konfiguracyjnie złożonych systemów energetyki zabezpieczeniowej techniki cyfrowe pozwoliły na tworzenie obszarowo rozproszonych i funkcjonalnych struktur realizujących wiele operacji z zakresu systemów zabezpieczeniowych, pomiarowych, sterowania lub identyfikacji stanu sieci przesyłowych.

PODEJMOWANIE DECYZJI W UKŁADACH ZABEZPIECZENIOWYCH

Podejmowanie decyzji to ostatni z etapów przetwarzania sygnałów cyfrowych w elektroenergetycznych układach automatyki zabezpieczeniowej. Podjęcie decyzji poprzedzane jest najczęściej filtracją cyfrową oraz pomiarami wielkości krytycznych, stanowiących warunek podjęcia decyzji, takich jak amplituda prądu, amplituda napięcia, częstotliwość, składowe impedancji czy składowe mocy. Zmierzone i przetworzone wielkości stanowią podstawę do określenia aktualnego stanu badanego obiektu lub systemu.

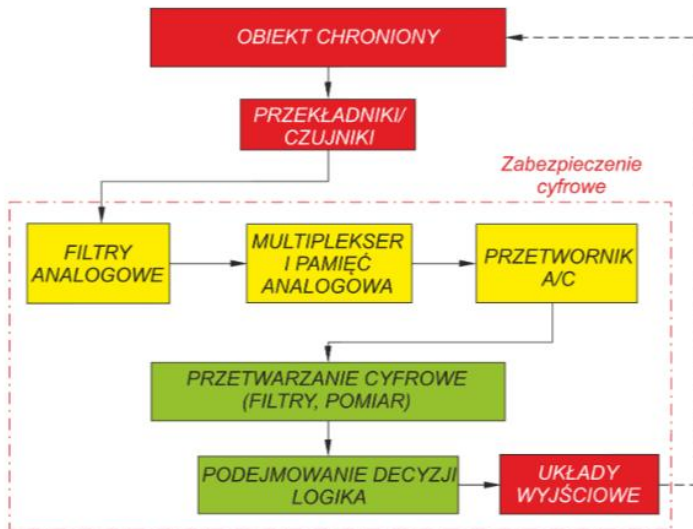
Decyzja podejmowana przez elektroenergetyczny układ zabezpieczeniowy zazwyczaj dotyczy wyłączenia badanego obiektu lub systemu. Jeżeli warunki pracy chronionego obiektu zostaną zakwalifikowane jako stwarzające zagrożenie

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, magdalena.wielgus95@gmail.com

nie (np. przeciążenie lub zwarcie), wówczas zostanie wysłana odpowiednia komenda, której zadaniem będzie wyłączenie odpowiedniego elementu, który realizuje proces odizolowania badanego obiektu lub systemu od pozostałych elementów tego układu. W ten sposób zapewnione jest ograniczenie ewentualnych uszkodzeń i strat związanych z niepożądanymi warunkami pracy poszczególnych elementów układu.

Należy przy tym stwierdzić, że analizowane parametry, a ostatecznie podejmowana decyzja powinna być podjęta:

- możliwie szybko, aby maksymalnie ograniczyć lub całkowicie wyeliminować możliwość powstania szkody oraz tak, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się awarii w wielkoobszarowe zjawisko takie jak blackout,
- selektywnie – wyłączeniu powinien podlegać tylko i wyłącznie obiekt lub system, w którym awaria została wykryta.

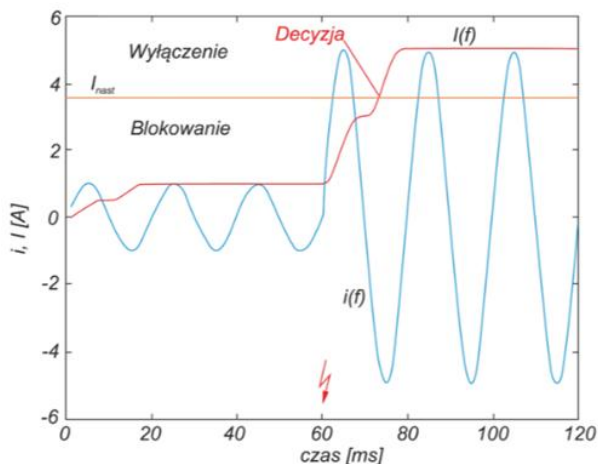


Rys. 1. Struktura współczesnego układu automatyki zabezpieczeniowej [1]

W dzisiejszych czasach, gdzie zapotrzebowanie na energię jest bardzo duże, a sieci przesyłowe są mocno obciążone niebezpieczeństwo może stanowić również nadmiarowa decyzja, mająca na celu wyłączenie z pracy obiektu nie objętego awarią. Przykładem jest wyłączenie transformatora wysokiego napięcia na średnie napięcie o dużym obciążeniu, co może doprowadzić do powstania i rozwinięcia awarii w blackout, a także skutkować przerwą w dostawie energii dla odbiorców, a tym samym wygenerować wysokie koszty związane z niedostarczeniem energii.

KLASYCZNE METODY PODEJMOWANIA DECYZJI

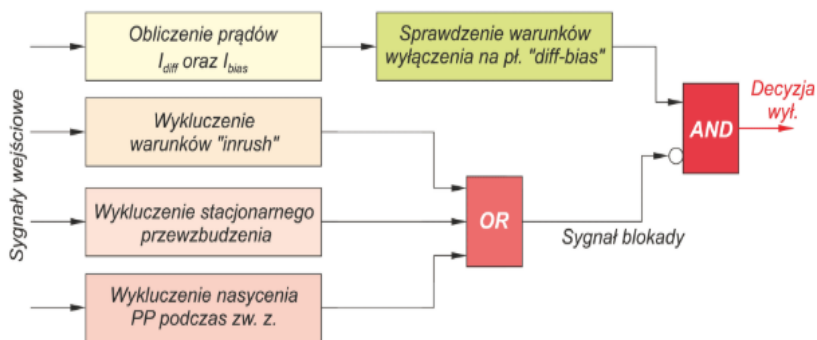
Zabezpieczenie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej zgodne z najnowszym stanem techniki wyposażone są w narzędzia służące do podejmowania decyzji o klasycznym charakterze. Podjęcie decyzji dotyczącej stanu sprawdzanego obiektu jest realizowane poprzez porównanie wartości wielkości mierzonej (kryterialnej) z wartością wzorcową (progową), tzw. nastawą. Przy zabezpieczeniach nadmiarowych podjęcie decyzji polega na sprawdzeniu czy sprawdzana wielkość nie przekracza wartości progowej.



Rys. 2. Przekroczenie wartości progowej przez wartość mierzoną w trakcie zwarcia [1]

Tego typu porównanie wykorzystuje się między innymi w zabezpieczeniach nadprądowych, nadnapięciowych oraz mocowych. W przypadku zabezpieczeń niedomiarowych podjęcie decyzji polega na sprawdzeniu czy wartość wielkości sprawdzanej znajduje się poniżej danej wartości progowej, tak jak w przypadku zabezpieczeń podnapięciowych lub podimpedancyjnych. Na rysunku 2 został przedstawiony przykład działania zabezpieczenia nadmiarowego. Na wykresie dokładnie widać moment, w którym wartość progowa jest przekroczona poprzez mierzoną amplitudę prądu. Czas podjęcia decyzji jest zależny od szybkości zmiany wielkości sprawdzanej podczas zwarcia w układzie oraz od dynamiki pomiaru, która jest funkcją algorytmu pomiarowego.

W przypadku zabezpieczeń podimpedancyjnych (odległościowych) linii lub transformatora, wielkością progową jest impedancja zespolona obliczona ze stosunku liczb zespolonych (fazorów napięcia oraz prądu). W związku z tym proces porównania odbywa się także w układzie zespolonym, gdzie zamiast wielkości progowej w postaci skalarnej stosuje się charakterystykę kołową lub w formie wieloboku, w zależności od typu zabezpieczenia.



Rys. 3. Schemat blokowy wielokryterialnego zabezpieczenia transformatora [1]

W przypadku układów zabezpieczeniowych obiektów złożonych, gdzie sprawdzanie jednej wartości progowej może nie wystarczyć do określenia stanu badanego obiektu, najczęściej stosuje się wielokryterialne podejmowanie decyzji. Przykładem może być transformator, gdzie wysoka wartość amplitudy prądu jest charakterystycznym parametrem zarówno dla zwarcia wewnętrznego, ale jak i dla załączenia jednostki, stacjonarnego przewzbudzenia lub podczas zwarcia zewnętrznego z nasyceniem przekładników prądowych. W związku z tym niezbędne jest wykorzystanie innych wielkości progowych, które pozwolą uniknąć wspomniane wcześniej zjawiska. Na poniższym rysunku został przedstawiony schemat blokowy zabezpieczenia wielokryterialnego transformatora. Decyzja o wyłączeniu elementu podejmowana jest przez agregację poszczególnych decyzji cząstkowych z wykorzystaniem klasycznej dwuwartościowej logiki operatorów logicznych NOT, AND oraz OR.

STATYSTYCZNE METODY PODEJMOWANIA DECYZJI

Opisane dotychczas klasyczne metody podejmowania decyzji w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej mogą okazać się zawodne, gdy zastosowane kryterium decyzyjne nie pozwoli na rozdzielenie w sposób jednoznaczny obszarów przestrzeni decyzyjnej odpowiadającym kategoriom zdarzeń, które należy rozpoznać. Przykład może być konieczność rozróżnienia normalnej pracy układu przy dużym obciążeniu od zwarcia spowodowanego dużą rezystancją. W obu sytuacjach wartość mierzonego prądu może przybierać podobną wartość, co generuje problem z rozróżnieniem obu sytuacji i podjęciem właściwej decyzji. Klasyczne podejście w przypadku podejmowania decyzji można wykorzystać tylko wtedy, gdy obszary przestrzeni decyzyjnej są oddzielone od siebie. W innym wypadku nie możliwym będzie dobór nastawy, która pozwoli na podjęcie prawidłowej decyzji.

W przypadku statystycznych metod podejmowania decyzji w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej sygnał kryterialny (progowy), inaczej zwany wielkością decyzyjną traktowany jest jako zmienna losowa o ściśle określonych parametrach. Decyzja podejmowana jest w oparciu o próby losowe, które tworzą zbiór wyników uzyskanych na podstawie obserwacji danego zjawiska w układzie, w postaci wektora próbek kryterialnego sygnału progowego. Niepożądane zjawisko przenikania się obszarów przestrzeni decyzyjnej można przedstawić w sposób statystyczny, jako nakładanie się warunkowych rozkładów prawdopodobieństwa danej wielkości decyzyjnej dla rozważanych zdarzeń. Konsekwencją wykorzystania statystycznego modelu jest zastosowanie metod wnioskowania statystycznego. Z aktualnie wykorzystywanych i dostępnych narzędzi statystyki można wymienić:

- estymację, która polega na poszukiwaniu parametrów o znanej postaci funkcyjnej wykorzystując przy tym dane eksperymentalne,
- teorię hipotez, która umożliwia rozstrzygnięcie, czy dana próba losowa powinna być uznana za sprzeczną z daną hipotezą czy też nie.

Badanie hipotez statystycznych opiera się na przeprowadzeniu postępowania, która pozwala zadecydować o prawdziwości tych hipotez. Wykorzystanie tego podejścia w praktyce jest możliwe przy wykorzystaniu tak zwanych testów sekwencyjnych, w których liczebność próby nie jest określana z góry. Kolejne próbki pobierane są w sposób sekwencyjny, a sam test można zrealizować w każdej chwili, akceptując lub odrzucając daną hipotezę. Przykładem zastosowania ilorazowego testu sekwencyjnego jest wykrycie i rozpoznanie rodzaju zwarcia w liniach przesyłowych.

ADAPTACYJNE UKŁADY DECYZYJNE

Adaptacja w elektroenergetycznych układach automatyki zabezpieczeniowej jest procesem automatycznego wdrażania modyfikacji w trakcie realizacji poszczególnych funkcji badanego układu w celu ich lepszego dopasowania do aktualnych warunków otoczenia tego układu. Dzięki zastosowaniu układów adaptacyjnych zawężamy obszar niepewności towarzyszącej podejmowaniu decyzji, poprawiamy czułość, selektywność oraz szybkość zadziałania tego układu. Adaptacyjność jest szczególnie ważna w sytuacjach, gdy warunki pracy badanego obiektu zmieniają się w szerokim zakresie, pożądana jest więc bieżąca modyfikacja progów decyzyjnych oraz innych parametrów, funkcji układu. Układy adaptacyjne towarzyszą automatyce zabezpieczeniowej już od wielu lat. Jako przykład można wymienić dostosowanie czułości zabezpieczenia różnicowego do pozycji przełącznika zaczepów w transformatorze, dostosowanie nastaw zabezpieczeń odległościowych linii równoległych do aktualnego stanu pracy torów równoległych oraz adaptacja (dostosowanie) programu wyłączania odbiorów poprzez układ SCO do aktualnego rozdziału mocy czynnej w odpływach stacji elektroenergetycznej.

Rozwój technologii cyfrowej pozwolił w znacznie szerszym stopniu i z większą łatwością realizować ideę adaptacyjności. W układach cyfrowych większość operacji przeprowadzana jest na zasadzie przetwarzania sygnałów poprzez algorytmy. Możliwość zastosowania układów adaptacyjnych umożliwia zmianę wartości współczynników, nastaw, ale również zmianę rodzaju poszczególnych algorytmów pomiarowych lub filtracyjnych. Bloki realizujące procesy adaptacyjne mogą otrzymywać sygnały pochodzące z innych bloków własnych, a także informacje z zewnętrznego otoczenia, co skutkuje inicjacją zmian adaptacyjnych. Odpowiednie komendy zmian przekazywane są do poszczególnych bloków podlegających adaptacji. Jednym z przykładów zastosowań układów adaptacyjnych w automatyce zabezpieczeniowej jest stabilizowane zabezpieczenie różnicowe generatora synchronicznego.

STOSOWANIE OPÓŹNIENIA

Zastosowanie opóźnienia, inaczej zwanego zwłoką czasową ma na celu ograniczenie obszaru podlegającego wyłączeniu poprzez uniemożliwienie zadziałania pozostałym zabezpieczeniom, które decydują o zadziałaniu zlokalizowanym znacznie bliżej uszkodzonego miejsca. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu zwłoki czasowej w podejmowaniu decyzji możemy zmniejszyć stopień niepewności dzięki ograniczeniu obszaru, w obrębie którego wielkość krytyczna może się znaleźć zarówno w stanie zwarcia oraz w warunkach, które nie wymagają wyłączeń. Opóźnienie czasowej jest jednym z najdawniejszych oraz najpowszechniejszych metod zmniejszania i eliminacji zagrożenia zbędnymi działaniami. Opóźnienie to może być niezależne od wartości krytycznej lub może wykazywać zależność schodkową.

ZWIELOKROTNIANIE ZABEZPIECZEŃ

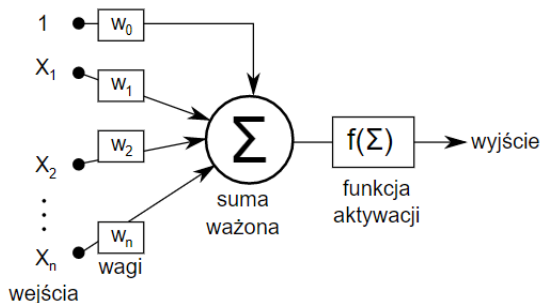
Najczęściej wykorzystywanym sposobem zmniejszania prawdopodobieństwa nieprawidłowego zadziałania zabezpieczenia jest jego zwielokrotnienie. Rozróżniamy trzy możliwości zwielokrotnienia, które powodują wyłączenie danego obiektu:

- jeżeli zadziała jeden z kilku niezależnych od siebie układów zabezpieczeniowych – rozwiązanie to zmniejsza prawdopodobieństwo zadziałania brakującego, jednocześnie zwiększając niebezpieczeństwo zadziałań zbędnych
- jeżeli zadziała jednocześnie wiele niezależnych od siebie zabezpieczeń, a najczęściej wszystkie, to w tym wypadku zmniejszy się prawdopodobieństwo zadziałań zbędnych, jednocześnie zwiększając ryzyko braku zadziałań,
- jeżeli jednocześnie zadziała określona liczba niezależnych od siebie zabezpieczeń to wyłączenie nastąpi jeżeli zadziałają co najmniej dwa z trzech niezależnych od siebie układów zabezpieczeniowych, dzięki czemu zmniejsza się ryzyko wystąpienia wyłączeń zbędnych oraz braku zadziałania.

Dzięki takiemu podejściu do zasady zwielokrotnienia istnieje możliwość założenia równorzędności niezależnych układów zabezpieczeniowych. Każdy z tych niezależnych układów traktowany będzie jako równie niezawodny, a kryteria, na których oparte są działania będą tak samo ważne.

SIECI NEURONOWE

Głównym elementem sieci neuronowych jest podstawowa jednostka strukturalna zwana neuronem. Na wejście każdego neuronu podawany jest wektor X sygnałów wejściowych o odpowiadającym liczbie wejść neuronu rozmiarze i mnożony poprzez wektor wag W , a następnie porównywany z sygnałami polarizacji. Sygnał wyjściowy stanowi funkcję aktywacji neuronu. Sposób uczenia neuronu polega na porównywaniu sygnału wyjściowego y i oczekiwanej wartością d , jeżeli sygnał wyjściowy i sygnał oczekiwany różnią się od siebie to proces nauki jest przeprowadzany od początku z tym, że modyfikowana jest wartość wag W , aż do osiągnięcia równej wartości sygnału wyjściowego i sygnału oczekiwanego.



Rys. 4. Model neuronu

Zazwyczaj w praktyce nie wykorzystuje się pojedynczych neuronów, w celu rozwiązywania skomplikowanych operacji i zadań zdecydowanie lepiej sprawdzają się sieci, które zbudowane są z wielu neuronów połączonych ze sobą. Aby prawidłowo wytrenować sieci neuronowe konieczne są reprezentatywne dla rozpatrywanego przypadku dane uczące oraz dane testowe, które różnią się od danych uczących i w ten sposób pozwalają na sprawdzenie wiarygodności otrzymywanych wyników wytrenowanej sieci. Ze względu na fakt, iż liczba danych wejściowych potrzebnych do wytrenowania sieci neuronowej znacznie przekracza liczbę danych pochodzących z zakłóceń w sieciach rzeczywistych systemu elektroenergetycznego, najczęściej do uzyskania potrzebnych danych wykorzystywane są laboratoryjne modele sieci lub specjalistyczne programy komputerowe, np. EMTP.

Sieci neuronowe znajdują zastosowania przede wszystkim w przetwarzaniu sygnałów, jako elementy decyzyjne lub wspomagające np. w przekąźnikach.

Stosowane są również w Systemach Ekspertowych umożliwiając analizę pracy kontrolowanej stacji elektroenergetycznej. Sieci neuronowe pozwalają odtworzyć rzeczywiste przebiegi przekładników prądowych oraz aproksymować przebiegi rzeczywiste prądów zwarciovych na podstawie przebiegów uzyskanych w stanie nasycenia przekładnika prądowego. Dodatkowo umożliwiają rozpoznawanie zwarć łukowych, a dzięki temu pozwalają uniknąć zbędnego działania układów automatyki.

SZTUCZNA INTELIGENCJA W PROCESACH DECYZYJNYCH

Sztuczna inteligencja oraz zastosowanie sieci neuronowych niosą spore nadzieje związane z poprawą skuteczności oraz pewności w podejmowaniu decyzji w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej. Sztuczne sieci neuronowe skutecznie sprawdzają się w rozpoznawaniu wzorców. Przy rozpatrywaniu wielu możliwych rozwiązań oraz z dużą ilością sygnałów wejściowych wykorzystywane są tzw. „Systemy Ekspertowe”. Natomiast przy utrudnieniach związanych z istnieniem zakłóceń oraz z brakiem pełnych danych wejściowych wykorzystuje się podejście rozmyte przy pomocy tzw. „Układów Rozmytych”. Metody oraz techniki wykorzystania sztucznej inteligencji w układach zabezpieczeniowych stanowią szeroki obszar literatury, natomiast jako najpopularniejsze rozwiązania można przedstawić poniższe przykłady:

- wielokryterialne, rozmyte zabezpieczenie transformatora,
- adaptacyjne, rozmyte zabezpieczenie linii przesyłowych, niewrażliwe na nasycenie przekładników prądowych,
- rozmyte zabezpieczenie nadprądowe dla linii elektroenergetycznej średniego napięcia,
- rozmyte zabezpieczenie generatora przed poślizgiem biegunów,
- neuronowe układy decyzyjne, wykorzystywane do zabezpieczenia generatora oraz detekcji nasycenia przekładników prądowych.

W związku z rosnącymi wymaganiami Unii Europejskiej wynikającymi ze wzrostu udziału generacji rozproszonej, źródeł odnawialnych oraz konieczności poprawy bezpieczeństwa i zapewnienia zasilania oraz rozwoju rynku elektroenergetycznego, a także poprawy efektywności energetycznej i oszczędzania energii, konieczna jest zmiana infrastruktury sieci przesyłowych oraz stacji rozdzielczych w kraju. Aby spełnić te wymagania, oprócz budowy nowych stacji oraz linii elektroenergetycznych konieczna jest także modernizacja już istniejących w sieci inteligentne, wykorzystując przy tym rozwiązania z dziedziny informatyki oraz telekomunikacji. Obecnie sieci średniego napięcia w niewielkim stopniu wyposażone są w możliwości monitorowania ich oraz sterowania łącznikami zainstalowanymi w ich obrębie. Funkcjonalność ta dotyczy głównie punktów transformacji wysokiego napięcia na napięcie średnie. Koncepcja sztucznych sieci neuronowych, inaczej zwanych siecią inteligentną, dotyczy wprowadzenia możliwości zdalnego sterowania oraz monitorowania wybranych punktów sieci, a także zautomatyzowanie procesów przeprowadzonych przez

dyspozytora oraz personel pogotowia energetycznego. Modernizacja obecnych sieci rozdzielczych w inteligentne sieci energetyczne ma głównie na celu poprawę niezawodności zasilania wszystkich odbiorców energii elektrycznej, powszechnie rozumianej jako zdolność do zapewnienia ciągłości dostaw. Niezawodność ta oceniana jest przez kilka wskaźników takich jak:

- SAIDI (ang. System Average Interruption Duration Index) – wskaźnik przeciętnego, systemowego czasu trwania przerwy w dostawie energii elektrycznej do 12 godzin (długiej) oraz do 24 godzin (bardzo długiej)
- SAIFI (ang. System Average Interruption Frequency Index) – wskaźnik przeciętnej, systemowej częstości występowania przerw długich oraz bardzo długich
- MAIFI (ang. Momentary Average Interruption Frequency Index) – wskaźnik przeciętnej, systemowej częstości występowania przerw krótkich.

Implementacja inteligentnych sieci elektroenergetycznych wiąże się między innymi z możliwością realizacji następujących funkcji:

- automatyczna detekcja zwarć w sieciach średniego napięcia oraz izolacja i przywracanie zasilania bez udziału personelu
- regulacja napięcia na zasilanym obszarze
- optymalizacja strat, zmiana punktów podziału sieci średniego napięcia oraz niskiego napięcia.

Modernizacja sieci rozdzielczych w inteligentne sieci przesyłowe umożliwi korzystanie z funkcji takich jak planowanie modernizacji lub rozbudowy sieci opierając się na aktualnych danych, obliczanie rozpyłów oraz mocy zwarcio- wych w sieciach średniego napięcia, likwidacja awarii przy wykorzystaniu danych o aktualnych obciążeniach oraz wybór adekwatnego miejsca przyłączenia dodatkowych źródeł energii, które zmniejszą straty energii.

DETEKCJA ZWARĆ, IZOLACJA I PRZYWRACANIE ZASILANIA

Działający w czasie rzeczywistym algorytm detekcji uszkodzeń w sieciach przesyłowych ma za zadanie oddzielenie uszkodzonego odcinka sieci i przywrócenie zasilania odbiorcom z linii przesyłowych nieobjętych uszkodzeniem. Algorytm ten, nazywany również funkcją FDIR (ang. Fault Direction & Restoration) bazuje na następujących danych wejściowych, które zbiera w czasie rzeczywistym: stan łączników sterowanych zdalnie, stan sygnalizatorów zwarć, pomiary prądów danej linii przesyłowej, moce transformatorów danej stacji rozdzielczej, obciążenia badanej linii, stan łączności z elementami sterowanymi zdalnie, stan zasilania elementów zdalnie sterowanych, pobudzenie oraz zadziałanie zabezpieczeń w GPZ, liczba cykli samoczynnego ponownego załączenia oraz działanie automatyki samoczynnego ponownego załączenia.

Opisany powyżej algorytm FDIR może zostać przedstawiony jako operacja na macierzach, tak aby eliminacja lub naprawa uszkodzonego odcinka oraz określenie nowej konfiguracji pracy była w pełni zautomatyzowana.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono przegląd najważniejszych metod, procedur oraz algorytmów podejmowania decyzji w elektroenergetycznych układach automatyki zabezpieczeniowej. Opisane rozwiązania mogą posłużyć jako wsparcie procesów podejmowania decyzji w układach automatyki wielkoobszarowej, której celem jest zabezpieczenie integralności systemu lub obiektu oraz zapobieganie rozwijającym się zakłóceniom.

Poprawność podejmowania decyzji w elektroenergetycznych układach automatyki zabezpieczeniowej jest uzależniona od pewnej krytycznej ilości informacji, której nadmiar może spowodować, iż istotne dla bezpieczeństwa systemu kryteria zostaną pominięte w natłoku danych wejściowych. Istnieje wówczas potrzeba wykorzystania algorytmów wspierających procesy podejmowania decyzji, np. wykorzystujących sztuczną inteligencję oraz Systemy Ekspertskie. Przy aktualnym stanie wiedzy, a także poziomie zaawansowania technologicznego można stwierdzić, iż inteligentne rozwiązania w automatyce zabezpieczeniowej będą stanowić przyszłość tak zwanych inteligentnych sieci elektroenergetycznych, które będą w stanie zapewnić nieprzerwaną dostawę energii elektrycznej do wszystkich odbiorców przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa oraz ekonomiczności pracy całego systemu.

LITERATURA

- [1] Rebizant W., Podejmowanie decyzji w cyfrowych układach automatyki elektroenergetycznej, *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 4/2013, 8–15
- [2] Babs A., Automatyzacja sieci rozdzielczych jako podstawowy element sieci inteligentnych, *Czasopismo Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 2/2013, 22–28
- [3] Jędrychowski R., Zastosowanie sieci neuronowych do nadzoru pracy stacji elektroenergetycznej, [w:] *Zastosowanie komputerów w elektrotechnice: materiały konferencyjne*, Politechnika Lubelska, Lublin 2/2000
- [4] Halinka A., Topór-Kamiński L., Szewczyk M., Analiza dokładności przetwarzania sygnału w torze pomiarowym cyfrowego terminalu automatyki elektroenergetycznej – wybrane wyniki badań, *Czasopismo PAK*, 9/2009, 769–773
- [5] Winkler W., Wiszniewski A., *Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 2004

PROJEKT STEROWANIA UKŁADEM NAPĘDOWYM MASZINY STOLARSKIEJ

WSTĘP

Współcześnie wykonywana obróbka drewna bazuje głównie na wykorzystaniu maszyn z napędem elektrycznym. Szczególną grupę stanowią obrabiarki nazywane strugarkami, heblarkami i grubościówkami, które służą do uzyskiwania gładkich i równych powierzchni desek. Maszyny te wykonane są w dwóch podstawowych wersjach – dla celów hobbystycznych i profesjonalnych. Maszyny nieprofesjonalne dla użytku indywidualnego posiadają zwykle tylko jeden napęd, który wprawia w ruch narzędzia skrawające, a jednocześnie zapewnia automatyczny posuw. Urządzenia te w odróżnieniu od profesjonalnych posiadają wysokość strugania regulowaną ręcznie. Właściwości nie zapewniają precyzyjnej kontroli obróbki drewna oraz ustawiania jej grubości. W związku z powyższym autor pracy postanowił opracować rozwiązania, które dla obrabiarki hobbystycznej zbliżyłyby jakość obróbki do uzyskiwanej przy użyciu maszyn profesjonalnych. Działania te skupić się miały na kontroli prędkości dla napędu skrawającego, posuwu oraz automatycznego ustawiania wysokości obróbki.

CEL I ZAKRES WYKONANEJ PRACY

Celem pracy jest zmodernizowanie sposobu ustawiania wysokości oraz prędkości obrotowej wału z ostrzami w strugarce grubościowej marki Delta 22-560. Modernizacja obejmować będzie dodanie napędu podnoszenia głowicy obrabiającej materiał i wyposażenie go w programowalny sterownik logiczny oraz zastosowanie narzędzia umożliwiającego utrzymanie stałej prędkości obrotowej mimo wzrostu obciążenia. Sterownik PLC ma za zadanie sprawować kontrolę nad napędem podnoszenia oraz instrumentami z nim związanymi.

Zakres pracy został podzielony na kilka zagadnień. Ich podział można przedstawić następująco:

- przeanalizowanie potrzeb projektu i wykonanie wstępnego spisu potrzebnych komponentów,
- poznanie i wybór metody stabilizacji prędkości obrotowej silnika,
- zestawienie porównawcze silników, które mogą być użyte w celu napędu podnoszenia głowicy oraz wybór odpowiedniego,

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, mateusz.szynkaruk@pollub.edu.pl

- porównanie możliwych do zastosowania metod odczytywania położenia i wybór jednej z nich,
- dobór odpowiednich instrumentów zarządzających pracą układu, wybór sterownika programowalnego logicznego,
- budowa zaprojektowanego układu napędowego,
- projektowanie oprogramowania napędu do sterownika.

Zagadnienia te zostały tu wymienione w porządku chronologicznym. Odpowiada on kolejności przeprowadzanych prac i dokonań wyborów odnośnie użycia odpowiednich komponentów w układzie napędowym.



Rys. 1. Widok ogólny grubościówki marki Delta 22-560 [1]

HEBLARKI I GRUBOŚCIÓWKI STOSOWANE DO CELÓW HOBBISTYCZNYCH I PROFESJONALNYCH

Modernizacja grubościówki Delta 22-560 będzie polegać na dodaniu napędu do pozycjonowania głowicy oraz zarządzania jego pracą. Dodatkowo rozpatrzone zostanie narzędzie do stabilizacji i utrzymywania określonych obrotów. Przy wyborze tych komponentów istotny będzie ich koszt, zdolność do wykonywania pożądanых działań, a co równie istotne ich parametry. W przypadku projektowanego układu całość elementów i jego wykonanie nie powinno przekroczyć sumy tysiąca pięciuset złotych co wraz z kosztem nowej grubościówki – koszt około dwóch tysięcy złotych, daje bardzo przystępną sumę. Wykonanie takiego projektu to dobra opcja na modernizację prostej grubościówki. Zwrócić należy też uwagę na sposób montażu poszczególnych komponentów i ich wzajemne dopasowanie. Całość powinna być dobrana na tyle dobrze, aby konstrukcja była spójna, a ich wzajemna implementacja nie przynosiła zbyt wielu problemów podczas tworzenia programu i ewentualnej pracy układu. Ważna jest również

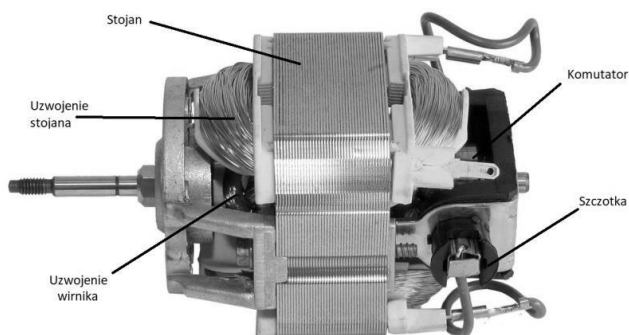
spójność mechaniczna, aby podczas pracy i przeciążeń z nią związanych konstrukcja nie uległa zniszczeniu.

Układ odpowiedzialny za pozycjonowanie powinien składać się z kilku podstawowych elementów takich jak:

- narzędzie do utrzymywania stałej prędkości obrotowej,
- silnik odpowiedzialny za podnoszenie głowicy,
- mechanizm lub czujnik odpowiedzialny za odnajdywanie położenia,
- czujniki wspomagające pozycjonowanie,
- sterownik zarządzający pracą układu,
- interfejs komunikacyjny dla operatora,
- układy zasilające wyżej podane elementy.

METODA REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA

Sposób regulacji prędkości obrotowej jest ściśle uzależniony od rodzaju silnika, aby go poznać należy przybliżyć definicje użytego w grubościówce napędu. Sam podział silników zostanie szerzej opisany w dalszej części pracy podczas wyboru jednostki napędowej dla pozycjonowania głowicy. Należy w tym przypadku zająć się wyłącznie silnikiem komutatorowym jednofazowym szeregowym. Jego zasada działania jest identyczna jak silnika komutatorowego prądu stałego, mimo to silnika na prąd stały nie można zasiląć prądem przemiennym. Wynika to z budowy poszczególnych elementów, a dokładniej materiałów użytych do ich konstrukcji.



Rys. 2. Budowa silnika komutatorowego prądu przemiennego [2]

Układy do regulacji obrotów są najlepszą analizowaną opcją dostępną na rynku. Cena takiego zestawu wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu złotych. Istotne są tu jednak parametry układu takie jak moc maksymalna silnika, który może być nim zasilany, zakres regulacji napięcia oraz dołączony radiator, jeśli jest potrzebny jeśli używamy silników dużej mocy. W tym celu mogłby zostać użyty regulator obrotów silnika mocy o mocy 4000 W i napięciu 230V. Jest to

model przeznaczony do regulacji obrotów silników komutatorowych jednofazowych, mimo to można użyć go także jako regulatora natężenia światła, czy nawet regulacji prądu ładowania w prostownikach. Zastosowania tego układu są naprawdę bardzo szerokie. Dopuszczalne obciążenie to 4 kW, dlatego został on także wyposażony w radiator i specjalną obudowę pozwalającą na łatwiejsze oddawanie ciepła. Duża moc regulatora obrotów sprawia, że obsługa silnika o mocy 1,8 kW nie powinna stanowić tu problemu. Zakres regulacji napięcia waha się w przedziale od 50 do 230 V, więc można w bardzo łatwy sposób zmieniać prędkość obrabiania, posługując się w tym celu potencjometrem z wyznaczoną podziałką. W układzie scalonym regulatora został wykorzystany triak BTA41 o maksymalnym prądzie 40 A.



Rys. 3. Widok wyżej omówionego regulatora obrotów [3]

WYBRANY UKŁAD POZYCJONOWANIA

Do projektu zostanie wykorzystany silnik DC prądu stałego z magnesem trwałym, który pierwotnie służył jako napęd wycieraczek przednich w samochodzie osobowym. Część ta jest używana, jednak pomimo to wciąż sprawna. Rozwiązanie to jest bardzo korzystne, ponieważ silnik ten posiada parametry zbliżone do wymagań stawianych przez układ. Istotnymi właściwościami tej rozwiązania jest wysoki moment obrotowy uzyskany dzięki zastosowaniu wbudowanej tu przekładni ślimakowej [4]. Dzięki temu duża prędkość na wale z mniejszym momentem obrotowym została zamieniona na wolniejsze obroty, ale z o wiele większym momentem obrotowym. Istotne jest również zasilanie napięciem o wartości 12 V oraz poborem prądu zbliżonemu 5 A. Wymiary również pasują do koncepcji.

Wybrano przetwornik obrotowo-impulsowy to produkt firmy OMRON produkcji japońskiej, jest to rozwiązanie z wyższej półki cenowej, jednak wybrany egzemplarz jest używany co znacząco ogranicza koszty. Rozdzielczość komponentu to 500 impulsów na jeden obrót, zakres napięć zasilania zawarty jest w przedziale od 5 do 12 V prądu stałego. Konfiguracja wyjścia w tym typie

przetwornika to tak zwany otwarty kolektor, co pozwala nam implementować go praktycznie dla wszystkich nowszych sterowników programowalnych PLC.



Rys. 4. Widok użytego silnika DC z magnesami trwałymi

Do projektu zostaną zastosowane dwa takie styczniki monostabilne WK601 o długości dźwigni 17 mm i przeznaczeniu do 5 A i 125 V. Istotne jest by zachować możliwie małe wymiary i użyć przełączników o charakterze monostabilnym. Jak sama nazwa sugeruje „mono” oznacza, że układ działa pojedynczo, w takim wypadku sterownik oczekiwac będzie po prostu impulsu, który zostanie wykorzystany w programie. Mała wielkość pozwoli zamontować go w łatwy sposób. Sam element posiada trzy wyprowadzenia oznaczone literami NC, NO i C. Są to skróty od nazw angielskich oznaczających kolejno normally close - normalnie zamknięty, czyli włączenie wyłącznika tworzy przerwę w obwodzie, normally open – normalnie otwarty, w tym przypadku użycie dźwigni powoduje zamknięcie obwodu. Litera C oznacza connect w wolnym tłumaczeniu jest to połączenie, taki jest również cel tego zacisku, do niego to właśnie należy przyłożyć napięcie.

WYBÓR STEROWNIKA PLC

Sterownik programowalny jest odpowiedzialny za koordynację całego układu. W przypadku urządzeń zarówno profesjonalnych jak i tego typu modyfikacji układu wyposaża się w sterowniki PLC. W przypadku omawianej tu modyfikacji wybrano zestaw sterowników firmy Siemens z serii LOGO. Ze względu na bardzo proste zadania stawiane przez układ wybrano najmniej zaawansowaną serię sterowników. W przypadku rozwiązań profesjonalnych maszyny takie wyposaża się w sterowniki bardziej zaawansowane. W ramach tego usprawnienia oprócz sterownika dodano także wyświetlacz, który będzie służyć jako interfejs dla operatora. Istotny był również wybór zasilaczy, które zapewniałyby odpowiednie parametry zasilania. Bardzo ważny był zasilacz odpowiedzialny za dodatkowy napęd podnoszenia głowicy, ze względu na duży prąd wyjściowy.

W wybranym zestawie znajduje się sterownik Siemens LOGO! 12/24RC-6ED1052-1MD00-0BA8. Charakteryzuje się on ośmioma wejściami binarnymi

z których mogą pracować jako analogowe napięciowe. Zasilany jest napięciem stałym lub przemiennym 12/ 24 V co ułatwione jest dzięki załączonemu do tego zestawu dedykowanemu zasilaczowi napięcia stałego. Cały moduł komunikuje się poprzez kabel Ethernet, a do programowania służy dedykowany program LOGO!Soft COMFORT 8.2 również dołączony do kompletu. Sterownik ma 4 wyjścia przekaźnikowe o wartości prądu 3 A. Dodatkowo warto zauważyć, że wejścia I3-I6 sterownika od wersji 0BA6 posiadają 5 kHz częstotliwość zliczania i są najczęściej wykorzystywane jako liczniki i timer'y. Są to tak zwane szybkie wejścia, które w tym przypadku są bardzo istotne. Sam przetwornik impulsowo-obrotowy będzie zamontowany po stronie przekładni, dlatego taka częstotliwość będzie w zupełności wystarczająca [5]. Całość w zupełności zaspokoi potrzeby techniczne projektu. Sterownik może być rozbudowywany w dodatkowe moduły 12/ 24V prądu stałego lub przemiennego.

Wybór komponentów był uzależniony od wielu czynników. Nie zawsze wybierano rozwiązania najlepsze, ponieważ maszyna jest przeznaczona dla rozwiązań hobbistycznych. Nie potrzeba zatem wyposażać układu w komponenty, których potencjału wyżej opisywana grubościówka po prostu nie wykorzysta. Zdecydowano się na rozwiązania proste, a zarazem spełniające wymagania poszczególnych funkcji. Dwukrotnie użyto komponentów używanych co pozwala zaoszczędzić na budowie takiego układu.



Rys. 5. Wykorzystany w projekcie programowalny sterownik logiczny

W ramach projektu użyto zasilacza LOGO! POWER 24 V/1,3 A, który został dołączony do wybranego zestawu. Jego zakres mocy to 30 W, natomiast napięcie wyjściowe do 24 V prądu stałego. Zasilany jest prąd przemienny o częstotliwości sieci 50 lub 60 Hz i zakresem napięciowym od 100 do 240 V. Zasilacz ten będzie odpowiedzialny za doprowadzenie energii do Panelu TDE oraz sterownika programowalnego. W celu zasilenia przetwornika impulsowo-obrotowego oraz silnika prądu stałego z magnesami stałymi zastosowany zostanie drugi zasilacz.

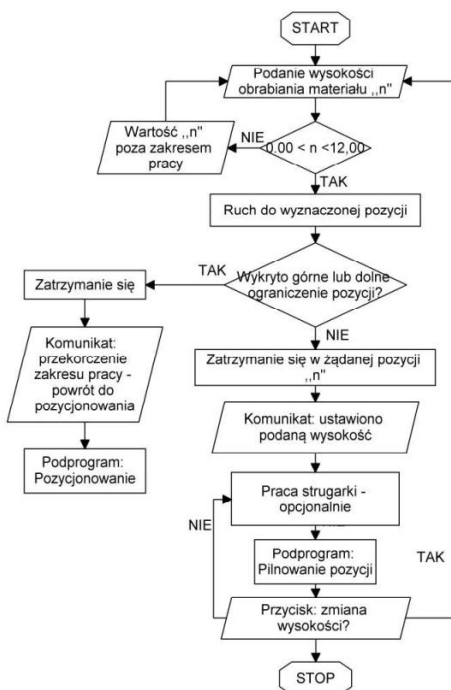
lacz. EDR-120-12 to zasilacz impulsowy firmy Mean Well przeznaczony do montażu na szynie DIN o mocy 120 W i maksymalnym możliwym obciążeniu 10 A. Napięcie wyjściowe wynosi 12 V, jednak można je zwiększyć do wartości 14 V. Jak widać jest to o wiele większy zasilacz niż poprzedni. Jego napięcie zasilania to 90...264 V dla napięcia przemiennego i 127...370 V dla napięcia stałego.

ALGORYTM STERUJĄCY

Programowanie sterownika to czynność, która zostanie wykonana na sam koniec prac przy modernizacji grubościówki. Bardzo przydatne jest wcześniejsze zbudowanie maszyny w celu zaobserwowania jej pracy oraz wykorzystania poszczególnych elementów. W tym rozdziale zostały opracowane i wykonane algorytmy odpowiedzialne za podnoszenie głowicy z ostrzami. Istotny był tu podział pracy na trzy etapy. Pierwszym z nich jest wykonywanie wstępnego pozycjonowania, czyli odnajdywanie położenia układu po każdym włączeniu czy też zaniku zasilania.



Rys. 6. Schemat blokowy algorytmu pozycjonowania układu



Rys. 7. Schemat blokowy podprogramu „praca”

Kolejnym etapem jest pozycjonowanie głowicy, tylko w tym momencie operator może wprowadzać dane, które będą odzwierciedlać pożądane położenie

głowicy. Ostatnim punktem jest algorytm odpowiedzialny za utrzymywanie zadanego położenia. Przekładnia ślimakowa cechuje się samohamownością. Mimo to należy sprawdzać czy głowica nie zmieniła położenia. Sterownik dzięki temu podprogramowi ciągle kontroluje położenie i w wyjątkowych sytuacjach przesuwa głowicę w zadane położenie. Po przygotowaniu takiego opracowania całość jest gotowa do napisania programu i jego implementacji do sterownika.



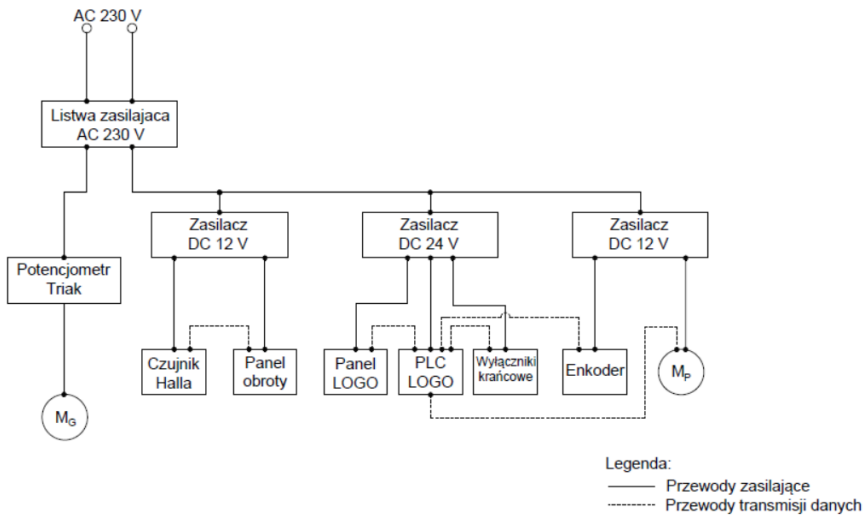
Rys. 8. Schemat blokowy algorytmu podprogramu - kontrola

KONCEPCJA I REALIZACJA MODERNIZACJI OBRABIARKI

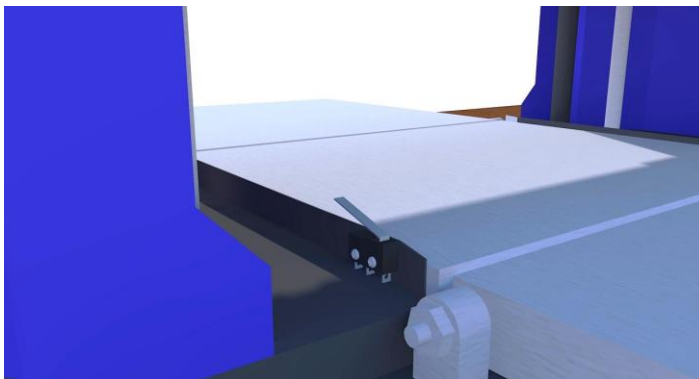
Symulacja w programach SketchUp 2017 oraz AutoCad 2019 pozwala zaobserwować jak docelowo powinno wyglądać i pracować zmodernizowane urządzenie. Na rysunkach przedstawiono mocowania komponentów do grubościówki i budowę interfejsu odpowiedzialnego za kontrolę prędkości obrotowej wału z ostrzami oraz za pozycjonowanie głowicy na požądanej wysokości.

Na rysunku 9 został przedstawiony schemat ideowy połączeń. Można zaobserwować, że jedynie silnik komutatorowy szeregowy prądu przemiennego i zasilacze są podłączone do napięcia o wartości 230 V. Sam silnik MG jest jednak zasilany poprzez układ regulacji prędkości zbudowany w oparciu o triak. Reszta układu potrzebuje napięcia 12 i 24 V. Istotne jest podłączenie do silnika MP odpowiedzialnego za podnoszenie głowicy. Linia przerywana obrazuje połączenia odpowiedzialne za transmisję danych pomiędzy czujnikami a sterownikiem programowalnym PLC. Połączenia wchodzące od góry są przypisane do wejść sterownika. Bardzo ważne jest, aby enkoder został podłączony do tak zwanych szybkich wejść. Przetwornik wykorzysta dwa takie wejścia odpowiednio dla zliczania impulsów przy poruszaniu się w górę oraz w dół. Rów-

niez wyłączniki krańcowe powinny zostać dołączone do wejść PLC. Panel tekstowy z kolei zostanie podłączony kablem typu Ethernet bezpośrednio do wejścia ethernet'owego na sterowniku. Wyjścia sterownika zostały oznaczone jako elementy związane z dolną krawędzią obiektu mu przypisanego. Tylko silnik MP został podłączony do wyjść kontrolera. Panel odpowiedzialny za wyświetlanie prędkości obrotowej został połączony dedykowanym interfejsem z czujnikiem Halla na wale w głowicy.



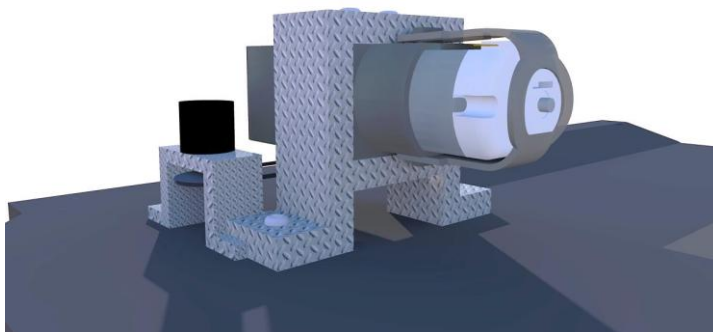
Rys. 9. Schemat ideowy połączeń komponentów wykonany w programie AutoCad 2019



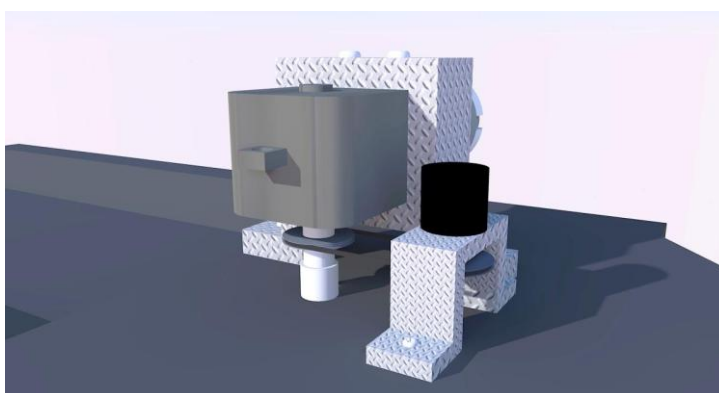
Rys. 10. Wizualizacja umiejscowienia czujnika krańcowego odpowiadającemu maksymalnemu dolnemu położeniu pracy wykonana w programie SketchUp 2017



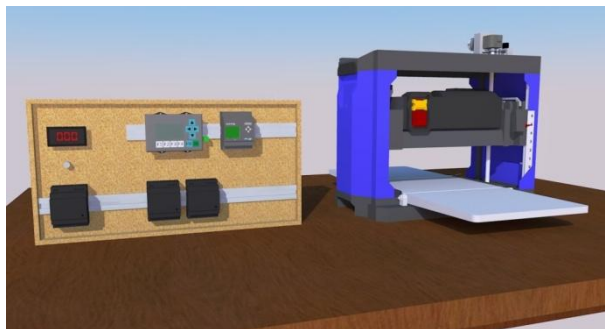
Rys. 11. Wizualizacja umiejscowienia czujnika krańcowego odpowiadającemu maksymalnemu górnemu położeniu pracy wykonana w programie SketchUp 2017



Rys. 12. Wizualizacja umiejscowienia silnika i enkodera wykonana w programie SketchUp 2017



Rys. 13. Wizualizacja umiejscowienia silnika i enkodera wykonana w programie SketchUp 2017



Rys. 14. Wizualizacja modernizacji całego układu wykonana w programie SketchUp2017

PODSUMOWANIE

Celem pracy było opracowanie koncepcji i modernizacji obrabiarki. Najpierw zajęto się możliwościami regulacji prędkości narzędzia skrawającego i posuwu. Zastosowano tu układ regulacji napięcia oraz czujnik Halla do pomiaru prędkości obrotowej. Następnie należało opracować koncepcje modernizacji napędu podnoszenia głowicy. Następnym etapem był wybór narzędzia do pozycjonowania, tu został wybrany enkoder inkrementalny. W celu zabezpieczenia wysokości obrabiania do układu zostały przeznaczone wyłączniki krańcowe monostabilne, wybrano zestaw sterownika programowalnego wraz z komponentami i zasilaczami. Na koniec zbudowano algorytmy na których należy oprzeć budowę programu do sterownika.

Całość została opracowana w sposób pozwalający na wykonanie tego tematu pracy w praktyce. Zostały przemyślane i poruszone wszystkie kwestie odpowiedzialne za poprawną pracę modernizowanej grubościówki. Przeprowadzone prace pozwolą na sterowanie napędami w maszynie stolarskiej.

LITERATURA

- [1] <https://deltamachinery.com/>, zasoby z dnia 20.04.2020
- [2] Kosmol J., Elektryczne silniki i układy napędowe obrabiarek i maszyn technologicznych, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1993
- [3] <https://www.stercontrol.pl>, zasoby z dnia 20.04.2020
- [4] Sabiniak H. G., Obciążalność i trwałość przekładni ślimakowych, Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2007
- [5] Nowakowski W., LOGO! w praktyce, Warszawa, Wydawnictwo BTC, 2006
- [6] Broel-Plater B., Układy wykorzystujące sterowniki PLC: projektowanie algorytmów sterowania, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008
- [7] Skoć A., Kwaśny M., Spałek J., Podstawy konstrukcji maszyn. T. 3, Przekładnie mechaniczne: zębate walcowe o stałych osiach, obiegowe, stożkowe i ślimakowe, cięgnowe łańcuchowe i pasowe, cienne, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2018.

PROJEKT STANOWISKA DO BADANIA ALTERNATORA SAMOCHODOWEGO

WSTĘP

Wyposażenie pojazdów w alternator, będący źródłem energii elektrycznej było spowodowane ciągłym rozwojem elektromechaniki. Wcześniej stosowane prądnice prądu stałego w wielu przypadkach nie spełniały potrzeb eksploatacyjnych samochodów. Głównym powodem zastosowania alternatorów jako alternatywy dla prądnic prądu stałego był wzrost liczby odbiorników oraz wydłużenie czasu pracy silnika spalinowego na biegu jałowym [10]. Alternatory charakteryzują się także mniejszymi wymiarami oraz masą nawet do trzech razy mniejszą w porównaniu do prądnic prądu stałego, przy tej samej mocy [3]. Uproszczony jest także układ regulacji, który składa się jedynie z regulatora napięcia. Alternator jest prądnicą synchroniczną posiadającą wbudowany zespół prostowniczy, który umożliwia uzyskanie prądu stałego. Dzięki właściwemu doborowi przekładni pomiędzy prądnicą a silnikiem, możliwe jest uzyskanie 70% mocy znamionowej podczas pracy silnika na biegu jałowym [3].

Dla prawidłowego działania samochodu ważna jest diagnostyka pracy alternatora. Podstawowe metody diagnostyki możliwe są bez wyjmowania alternatora z pojazdu, natomiast dokładniejsze metody odbywają się po wymontowaniu układu alternatora z pojazdu, a w razie konieczności rozebraniu jego na części.

ALTERNATORY W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

Alternator to trójfazowa prądnica prądu przemiennego, która jest wyposażona w prostownik. Jego zadaniem jest zamiana energii mechanicznej na energię elektryczną. Alternator dostarcza energię elektryczną, która potrzebna jest do zasilania instalacji elektrycznej w samochodzie, w skład której wchodzi akumulator oraz odbiorniki. Akumulator dostarcza energię elektryczną wymaganą do rozruchu silnika spalinowego i do odbiorników, gdy silnik jest wyłączony. Akumulator podczas pracy silnika spalinowego jest doładowywany przy pomocy alternatora. Wyróżnia się alternatory zestykowe i bezstykowe (w większości przypadków stosuje się alternatory zestykowe). Alternatory bezstykowe posiadają dużą masę oraz charakteryzują się dużymi kosztami produkcji. Alternatory te stosowane są jedynie w pojazdach ciężkich, które pracują w bardzo trudnych warunkach [1, 3].

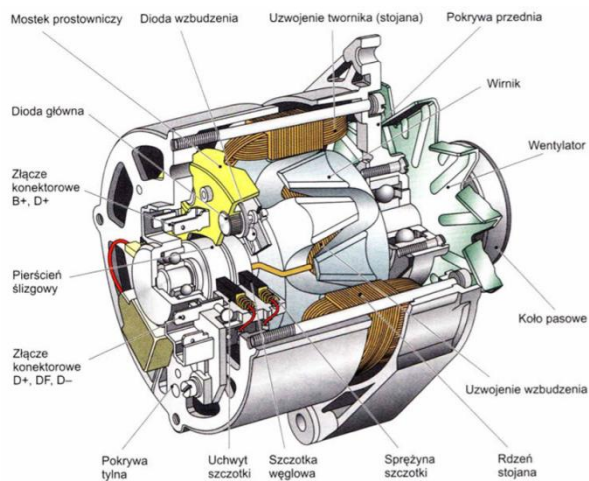
¹ Politechnika Lubelska, WEiI, mariusz.pietrzak@pollub.edu.pl

Alternatory używane w pojazdach samochodowych w celu odpowiedniej pracy odbiorników zainstalowanych w samochodach powinny [3]:

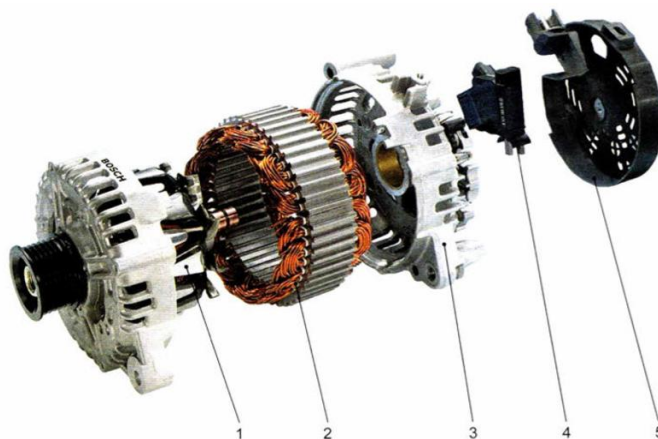
- pokrywać zapotrzebowanie na moce wymagane przez odbiorniki elektryczne pojazdów,
- zagwarantować stosownie dużą rezerwę mocy wymaganą do ładowania akumulatorów jednocześnie przy pracy odbiorników pojazdu,
- zapewnić stałą wartość napięcia w całym zakresie prędkości obrotowej bez względu na obciążenia,
- zagwarantować ładowanie akumulatora już podczas pracy silnika spalinowego na biegu jałowym,
- posiadać budowę zapewniającą ochronę przed czynnikami zewnętrznymi,
- mieć dostatecznie małe gabaryty i masę,
- pracować poprawnie w szerokim zakresie prędkości obrotowej,
- pracować bez jakiegokolwiek obsługi,
- charakteryzować się dużą trwałością,
- mieć możliwie mały poziom hałasów podczas pracy,
- posiadać jak największą sprawność (min. 60%).

BUDOWA ALTERNATORA SAMOCHODOWEGO

Budowa alternatora została zaprezentowana na rys. 1., natomiast jego podstawowe elementy składowe ukazano na rys. 2. W budowie alternatora można wyróżnić kluczowe podzespoły, którymi są zespół ruchomego wirnika z uzwojeniem wzbudzenia (magneśnica), a także zespół nieruchomego stojana z uzwojeniem. Dodatkowo jego konstrukcję tworzy obudowa składająca się z pokrywy przedniej i tylnej, koło pasowe, wentylator, zespół prostowniczy, regulator napięcia oraz szczotkotrzymacz wraz ze szczotkami [7, 8].



Rys. 1. Budowa alternatora samochodowego [2]



Rys. 2. Podstawowe elementy składowe alternatora, gdzie: 1 – wirnik (magneśnica), 2 – uzwojenie twornika (stojan), 3 – pokrywa tylna, 4 – regulator napięcia, 5 – osłona tylna [2]

ZASADA DZIAŁANIA ALTERNATORA

W alternatorach pracę układu komutator-szczotki, czyli tak zwanego prostownika mechanicznego zastępuje się zespołem elektronicznym skonstruowanym z półprzewodnikowych diod prostowniczych. Zespół półprzewodnikowych diod prostowniczych to tak zwany trójfazowy mostek prostowniczy. Jego zadaniem jest prostowanie trójfazowego prądu przemiennego wytwarzanego w uzwojeniu stojana. Uzwojenia stojana zwykle łączy się w gwiazdę, w alternatorach dużej mocy stosuje się łączenie uzwojeń w trójkąt [3].

Zasada działania alternatora polega na zjawisku indukcji elektromagnetycznej. Wirnik wiruje w środku pierścieniowego stojana, napędzany jest za pomocą przekładni pasowej silnikiem pojazdu. Prąd stały dostarczany jest z akumulatora na uzwojenie wzbudzenia wirnika. Za pomocą dwóch szczotek węglowych (+ oraz -), które współpracują z pierścieniami ślizgowymi do obracającego się wirnika możliwe jest doprowadzanie prądu stałego. Dzięki płynącemu prądowi wokół wirnika wytwarza się pole elektromagnetyczne. Pole elektromagnetyczne oddziałując na uzwojenia twornika indukuje w nich napięcie źródłowe (siłę elektromotoryczną). Wartość sił elektromotorycznych indukowanych w zwojach twornika jest proporcjonalna do prędkości kątowej z jaką obraca się wirnik [3, 5, 6].

W trakcie obracania wirnika wartości sił elektromotorycznych w poszczególnych fazach uzwojenia zmieniają się od wartości maksymalnej, przez punkt zerowy, aż do maksimum o odwrotnym znaku. Zmiany te mają charakter bliski sinusoidalnemu. Z tego powodu każde z uzwojeń fazowych twornika połączone jest z oddzielną parą diod. Uzwojenia te połączone są z dodatnim zaciskiem alternatora przez diody dodatnie i radiator, natomiast z masą alternatora poprzez diody ujemne. Prąd stały potrzebny do zasilania uzwojenia wzbudzenia

dzenia dostarczany jest z akumulatora jedynie podczas pierwszej fazy pracy alternatora, gdy prędkość obrotów silnika jest niewielka. W tym czasie alternator pracuje jak prądnica obcowzbudna. Natomiast przy wzroście prędkości obrotów wirnika prądnicy, uzwojenie wzbudzenia wirnika zasilane jest poprzez alternator pracujący już jako prądnica samowzbudna. Prędkość obrotów wirnika zależna jest od prędkości obrotów wału korbowego silnika, z tego powodu zmienia się w dość szerokim zakresie, konieczne jest więc zastosowanie regulatora, który będzie utrzymywał stałą wartość napięcia na zaciskach wyjściowych alternatora [3, 4, 5].

DIAGNOZOWANIE ALTERNATORÓW SAMOCHODOWYCH

Diagnostyka alternatora to proces mający na celu sprawdzenie stanu technicznego alternatora oraz określenie jego poprawności działania. Podstawowe metody diagnostyki możliwe są bez wyjmowania alternatora z pojazdu, natomiast dokładniejsze metody odbywają się po wymontowywaniu układu alternatora z pojazdu, a w razie konieczności rozebraniu jego na części. Oznaką wadliwego działania alternatora w pojazdach samochodowych jest zapalenie się lampki kontrolnej ładowania w trakcie pracy silnika. Odbywa się to, gdy napięcie ładowania nie mieści się w zakresie 13,5÷14,6 V. Niski poziom naładowania akumulatora w trakcie pracy silnika pojazdu również może oznaczać niesprawność alternatora [2].

Diagnozowanie alternatora bez wyjmowania go z pojazdu samochodowego, może odbyć się za pomocą zmysłów ludzkich (sprawdzenie organoleptyczne) oraz metodami przyrządowymi. Diagnozowanie organoleptyczne polega na sprawdzeniu stanu paska klinowego napędzającego alternator, określenie czy pasek nie jest postrzępiony, pęknięty, nie posiada rozstawień na powierzchni bocznej i zewnętrznej, czy zęby paska nie są uszkodzone. Oceniany jest także stan koła pasowego oraz czy pasek klinowy jest odpowiednio naciągnięty. Przy pracy silnika można ocenić także czy napędzony alternator nie wytwarza niepokojących hałasów, które mogą wskazywać na uszkodzenie łożysk, na których zamocowany jest wirnik [2, 9].

Ocena stanu technicznego alternatora metodami przyrządowymi polega na pomiarze napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu. Pomiary wykonuje się testerem elektronicznym akumulatora lub przy pomocy oscyloskopu. Pomiar napięcia testerem w instalacji elektrycznej polega na podłączeniu testera do odpowiednich zacisków, uwzględniając kolor zacisków krokodylowych przyrządu. Następnie przy uruchomionym silniku można wykonać pomiary dla alternatora obciążonego oraz w przypadku obciążenia alternatora odbiornikami elektrycznymi zainstalowanymi w pojeździe samochodowym (np. nagrzewnica, dmuchawa, światła). Takie pomiary można wykonywać dla różnych prędkości obrotowych silnika, testery nowszej technologii przekazują komunikaty dotyczące informacji zalecanych w danym teście warunków pracy (np. potrzeba zwiększe-

nia prędkości obrotowej lub zwiększenie obciążenia). Kolejną czynnością jest wyłączenia silnika pojazdu oraz odczytanie wyniku pomiaru [2].

STANOWISKO DO BADANIA ALTERNATORA

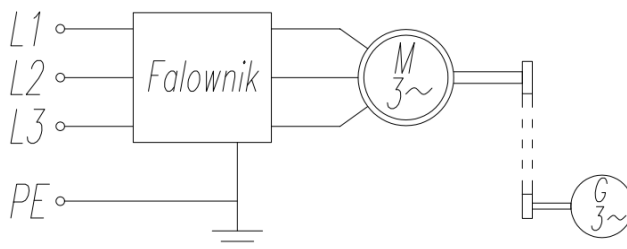
Badanie alternatora to podstawowa czynność umożliwiającą zdiagnozowanie stanu technicznego oraz jego poprawności działania. Standardowe metody diagnostyki alternatorów nie pozwalają na przeprowadzenie pełnego zakresu pomiaru parametrów wyjściowych, w tym celu buduje się stanowiska pomiarowe do badania alternatora. Stanowisko do badania alternatora umożliwia przeprowadzenie pomiarów parametrów wyjściowych prądnicy prądu przemiennego dla różnych wartości prędkości obrotowej oraz pełniejszych zakresów obciążenia w porównaniu z możliwością obciążenia jej w pojeździe samochodowym. Zwykle pojazdy samochodowe nie są w stanie obciążyć maksymalnie alternatora, dlatego trudne jest dokładne zdiagnozowanie pracy alternatora w samochodzie. Podczas badania alternatora na stanowisku możliwe jest dołączenie wystarczającego obciążenia, pozwalającego osiągnąć maksymalną wartość prądu na wyjściu alternatora [2]. Możliwe jest przeprowadzenie pomiarów przy prędkościach obrotów wirnika praktycznie nie występujących w samochodach, wynikające z zakresu obrotów w silniku spalinowym.

Zazwyczaj w pojazdach samochodowych najniższa prędkość obrotowa alternatora wynosi $2000 \div 3000$ obr./min, wynika to ze stosowania przekładni pasowej pomiędzy blokiem silnika, a kołem pasowym prądnicy prądu przemiennego i liczby obrotów silnika na biegu jałowym [2]. Na stanowisku możliwe jest przeprowadzenie pomiarów dla prędkości obrotowej przy której alternator zostaje wzbudzony, a więc prędkość $900 \div 1000$ obr./min. Dzięki wyprowadzeniu zacisków pomiarowych, możliwy jest płynny i wygodny pomiar jego parametrów za pomocą mierników. Możliwa jest symulacja usterek alternatora oraz w trakcie ich symulacji zapis oscylogramów napięcia zarejestrowanych na zaciskach wyjściowych. Stanowisko umożliwia wykreślenie podstawowych charakterystyk eksploatacyjnych alternatorów.

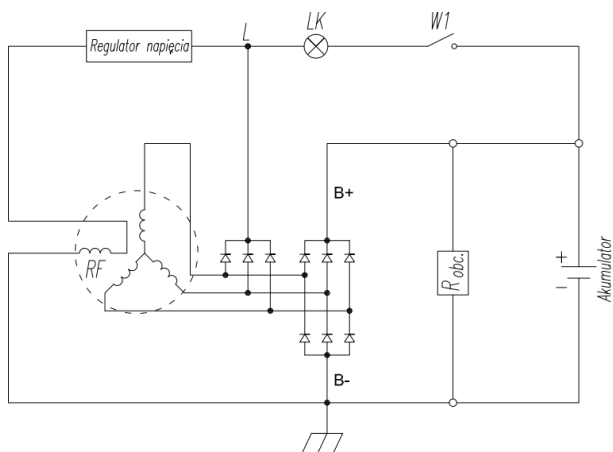
BUDOWA STANOWISKA POMIAROWEGO

Założeniem przy budowie układu sterującego było uzyskanie jak najpełniejszej symulacji pracy alternatora. W pojeździe samochodowym prądnica prądu przemiennego pracuje w różnych zakresach prędkości obrotowych, wynika to z zasady działania silnika spalinowego. Wał wirnika napędzany jest z wału korbowego silnika poprzez przekładnię pasową, która zwykle 2,5 razy zwiększa jego prędkość w porównaniu do prędkości obrotowej silnika. W czasie standardowej pracy silnika pojazdu prędkość obrotowa wynosi $900 \div 3000$ obr./min, uwzględniając zastosowaną przekładnię prędkość wirnika wynosi średnio $2250 \div 7500$ obr./min. W zbudowanym stanowisku pracę silnika pojazdu odzwierciedla trójfazowy silnik o mocy 2,2 kW. Maksymalna prędkość obrotowa silnika wynosi 2800 obr./min, dzięki odpowiednio dobranej średnicy koła pas-

wego zamocowanego na wale silnika można uzyskać do 7200 obr./min na wale wirnika alternatora. Do zasilania silnika zastosowano falownik trójfazowy Hitachi sj200 4 kW zamocowany w górnej części stanowiska, który pozwala na płynną regulację obrotów silnika, dzięki regulowanej częstotliwości napięcia na wyjściach falownika. Odzworowuje to zmiany prędkości obrotowej silnika spalowego pojazdu w czasie jego pracy. Do przenoszenia napędu silnika na alternator zastosowano pasek wielorowkowy. W celu zamontowania układu napędzającego oraz alternatora został zbudowany masywny stół, zapewniający przymocowanie wszystkich elementów. W celach zamocowania silnika został zaprojektowany układ z bloku stalowego oraz tulejki, pozwalający na oddalanie oraz przybliżanie silnika od alternatora, pozwala to w wygodny sposób na naprężanie paska przekazującego napęd z silnika na alternator. Na stelażu stołu zostały przyspawane uchwyty, służące do mocowania alternatora. Zbudowane stanowisko jest zaprojektowane do danego modelu alternatora, wynika to ze sposobu mocowania silnika oraz badanego alternatora. Badanym urządzeniem jest alternator firmy Valeo 120A, pochodzącym z samochodu GOLF IV. Jest to trójfazowa prądnica prądu przemiennego wyposażona w prostownik oraz regulator napięcia z wbudowanym szczotkotrzymaczem. Jest to alternator obcowzbudny, prąd wzbudzenia do maszyny jest dostarczany poprzez pin L umieszczony w regulatorze napięcia. W zaprojektowanym stanowisku prąd wzbudzenia dostarczany jest z klemy dodatniej akumulatora poprzez żarówkę 12 V oraz wyłącznik umieszczone na blacie stołu stanowiska połączone szeregowo. Elementy te umożliwiają symulację pracy układu w pojeździe samochodowym. Wyłącznik odzworowuje uruchamianie zapłonu silnika, natomiast żarówka odpowiada lampce kontrolnej ładowania akumulatora. Do pomiaru prędkości obrotowej na wale wirnika zastosowano Tachometr TH4NPN, jest to element pomiarowy wykorzystujący czujnik magnetyczny NPN, który współpracuje z magnesem zamontowanym na elemencie wirującym. Schemat elektryczny układu napędzającego alternator został przedstawiony na rys. 3, natomiast schemat elektryczny badanego alternatora wraz z dołączanymi elementami na rys. 4.



Rys. 3. Schemat elektryczny układu napędzającego alternator



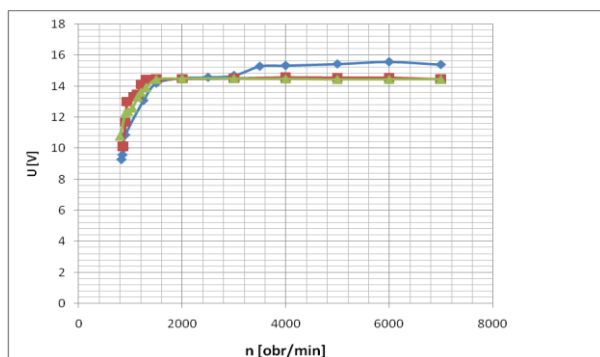
Rys. 4. Schemat elektryczny alternatora wraz z dołączanymi elementami

WYNIKI

Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego alternatora współpracującego z regulatorem elektronicznym w funkcji prędkości obrotowej $U = f(n)$:

Tabela 1. Wyniki pomiarów charakterystyki $U = f(n)$

$I_{obc} = 0 \text{ A}$			$I_{obc} = 10 \text{ A}$			$I_{obc} = 20 \text{ A}$		
Lp.	n	U	Lp.	n	U	Lp.	n	U
-	obr./min	V	-	obr./min	V	-	obr./min	V
1	7000	15,4	1	7000	14,46	1	7000	14,44
2	6000	15,58	2	6000	14,56	2	6000	14,44
3	5000	15,44	3	5000	14,56	3	5000	14,43
4	4000	15,34	4	4000	14,58	4	4000	14,47
5	3500	15,29	5	3000	14,52	5	3000	14,49
6	3000	14,7	6	2000	14,48	6	2000	14,49
7	2500	14,58	7	1500	14,45	7	1500	14,43
8	2000	14,53	8	1300	14,44	8	1300	13,9
9	1500	14,2	9	1200	14,11	9	1200	13,6
10	1250	13,08	10	1127	13,45	10	1140	13,3
11	900	10,86	11	1060	13,31	11	1038	12,6
12	872	10	12	932	13	12	950	12,4
13	845	9,58	13	900	11,7	13	900	12,26
14	826	9,28	14	850	10,1	14	800	10,8

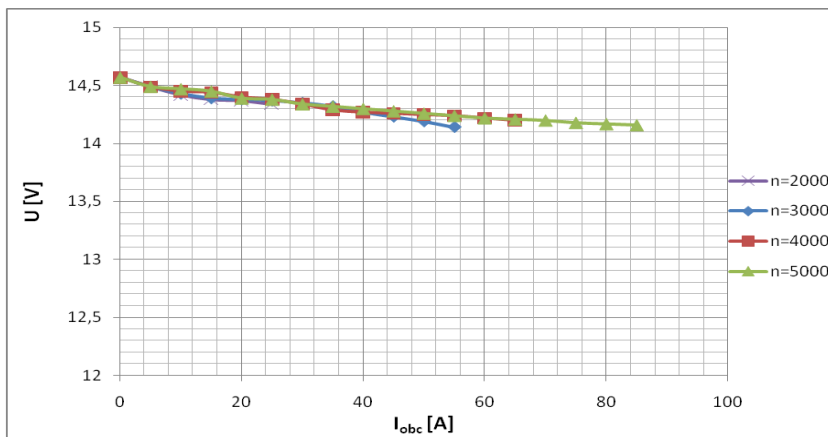


Rys. 5. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prędkości obrotowej alternatora

Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego alternatora współpracującego z regulatorem elektronicznym względem prądu obciążenia $U = f(I_{obc})$:

Tabela 2. Wyniki pomiarów charakterystyki $U = f(I_{obc})$

$n = 2000 \text{ obr./min}$			$n = 3000 \text{ obr./min}$			$n = 4000 \text{ obr./min}$			$n = 5000 \text{ obr./min}$		
Lp.	I_{obc}	U	Lp.	I_{obc}	U	Lp.	I_{obc}	U	Lp.	I_{obc}	U
-	A	V	-	A	V	-	A	V	-	A	V
1	0	14,57	1	0	14,57	1	0	14,57	1	0	14,57
2	5	14,49	2	5	14,49	2	5	14,49	2	5	14,49
3	10	14,42	3	10	14,43	3	10	14,45	3	10	14,47
4	15	14,38	4	15	14,39	4	15	14,44	4	15	14,45
5	20	14,37	5	20	14,38	5	20	14,4	5	20	14,39
6	25	14,34	6	25	14,37	6	25	14,38	6	25	14,38
			7	30	14,35	7	30	14,34	7	30	14,34
			8	35	14,32	8	35	14,29	8	35	14,32
			9	40	14,27	9	40	14,27	9	40	14,3
			10	45	14,23	10	45	14,26	10	45	14,28
			11	50	14,19	11	50	14,25	11	50	14,26
			12	55	14,14	12	55	14,24	12	55	14,24
						13	60	14,22	13	60	14,22
						14	65	14,2	14	65	14,21
									15	70	14,2
									16	75	14,18
									17	80	14,17
									18	85	14,16

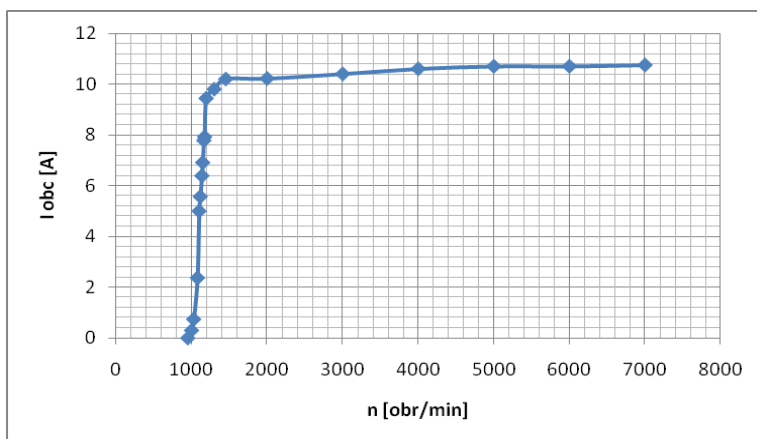


Rys. 6. Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu obciążenia

Pomiar charakterystyki prądu obciążenia względem prędkości obrotowej wirnika alternatora:

Tabela 3. Wyniki pomiaru charakterystyki $I_{obc} = f(n)$

Lp.	n	I_{obc}
1	7000	10,75
2	6000	10,7
3	5000	10,7
4	4000	10,6
5	3000	10,4
6	2000	10,22
7	1453	10,2
8	1300	9,8
9	1193	9,44
10	1172	7,92
11	1163	7,78
12	1147	6,91
13	1136	6,39
14	1115	5,57
15	1100	5
16	1078	2,37
17	1028	0,74
18	1000	0,3
19	950	0



Rys. 7. Charakterystyka prądu obciążenia w funkcji prędkości obrotowej na wale wirnika

PODSUMOWANIE

Alternator to bardzo ważny element wyposażenia pojazdu samochodowego, jego poprawne działanie umożliwia poprawną pracę zainstalowanych odbiorników oraz sterowanie układem pracy silnika spalinowego. Akumulator dostarcza energię elektryczną wymaganą do rozruchu silnika spalinowego i do odbiorników, gdy silnik jest wyłączony, natomiast podczas pracy silnika jego rolę przejmuje prądnica prądu przemiennego, która zasila odbiorniki oraz doładowuje akumulator. Ważnym aspektem jest, żeby alternator oddawał prąd już przy prędkości jałowej silnika spalinowego oraz zapewniał stałą wartość napięcia w całym zakresie prędkości obrotowej bez względu na obciążenie.

Badanie alternatora to podstawowa czynność umożliwiająca zdiagnozowanie stanu technicznego oraz jego poprawności działania. Stanowisko do badania alternatora ma na celu ukazanie zasady działania oraz przedstawienie podstawowych metod diagnostyki alternatora samochodowego. Stanowisko umożliwia przeprowadzenie pomiarów parametrów wyjściowych prądnicy prądu przemiennego dla różnych wartości prędkości obrotowej oraz pełniejszych zakresów obciążenia w porównaniu z możliwością obciążenia jej w pojeździe samochodowym.

Zbudowane stanowisko realizuje funkcje jakie zostały założone podczas jego projektowania. Możliwe jest dostosowanie wartości prędkości obrotowej do rzeczywistych prędkości w pojeździe oraz płynna regulacja prędkości obrotowej wału wirnika, dzięki zastosowaniu falownika do zasilania silnika. W zbudowanym stanowisku zastosowano silnik 2,2 kW w celu bezpiecznego użytkowania stanowiska. Istnieje możliwość dalszej rozbudowy funkcji pomiarowych stanowiska.

Badania potwierdziły poprawność działania badanego alternatora, akumulator był doładowywany już przy prędkości obrotowej wirnika wynoszącej 950

obr/min. Otrzymane charakterystyki eksploatacyjne potwierdzają poprawność działania regulatora napięcia zastosowanego w badanym alternatorze. Stan izolacji uzwojeń stojana oraz rezystancja wirnika jest poprawny, według wartości wzorcowych. Mierzone wartości napięć fazowych i międzyfazowych uzwojeń stojana mieszczą się w zakresach wzorcowych. Zarejestrowane składowe zmiennej sygnału napięcia na zaciskach B+ oraz D+ względem masy pokrywają się z ich wzorcowymi odpowiednikami dla sprawnej prądnicy.

LITERATURA

- [1] Duer S., Laboratorium elektrotechniki samochodowej Tom I, Wydawnictwo uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2009
- [2] Dyga G., Diagnostyka układów elektrycznych i elektronicznych, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2014
- [3] Horecki S., Elektrotechnika samochodowa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1984
- [4] Jankowski K., Puchalski A., Laboratorium elektrotechniki pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Radom 1990
- [5] Koziej E., Maszyny elektryczne pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984
- [6] Kujawa S., Elektrotechnika samochodowa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Zielona Góra 1986
- [7] Ocioszyński J., Elektrotechnika i elektronika w technice motoryzacyjnej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996
- [8] Ocioszyński J., Zespoły elektryczne i elektroniczne w samochodach, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2008
- [9] Pacholski K., Elektryczne i elektroniczne wyposażenie pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2014
- [10] http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0ede0dac-1f03-478c-ae30-f271f844b74d/c/17_Duer_Badanie.pdf, zasoby z dnia 16.03.2020

TECHNOLOGIA PARAMETRYCZNEGO MODELOWANIA INFORMACJI O BUDYNKU (BIM) – ROZWÓJ, RYZYKO, KORZYŚCI

WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich kilku lat możemy zaobserwować wzrost szczegółowości rozwiązań projektowych w ramach dziedzin MEP. Coraz to nowsze technologie i konfiguracje wymagają parametryzacji poszczególnych elementów i komponentów dla ułatwienia ich identyfikacji oraz prostoty aplikacji. Ujęcie wszelkich wymaganych informacji wymaga czasu, którego w każdym procesie projektowym jest ograniczona ilość. Optymalnym rozwiązaniem jest zautomatyzowanie prac koncepcyjnych oraz scalenie technologii ich wykonywania. Z racji specyfiki opracowań spotykamy się z wieloma środowiskami, racjonalnym jest, więc ujednolicenie formy, połączenie branż, praca na jednym, wspólnym modelu. Na wprost tym oczekiwaniom wychodzi technologia szerzej znana jako BIM - Building Information Modeling. W niniejszym artykule przytoczono aspekty i rozwiązania, dzięki którym BIM już za kilka lat całkowicie wyprze standardowe prace projektowe opierające się na technologii rysunku 2D.

TECHNOLOGIE PROJEKTOWE

Na przestrzeni kilkudziesięciu ostatnich lat sposób projektowania obiektów budowlanych przechodził jedynie naturalne ewolucje w ramach rozwoju narzędzi projektowych. W 2020 roku stoimy na brzegu, w który lada moment uderzy fala rewolucji w dziedzinie planowania inwestycji. Rozwiązania, które obecnie są powiewem nowości i świeżego podejścia do tematu projektu, jako zbioru informacji i wskazówek lada moment wejdą do życia codziennego projektantów, jako podstawowe narzędzia ich pracy [2].

Pierwszym z podstawowych i nieodzownych narzędzi pracy projektanta była deska kreślarska. Stanowiła ona miejsce, gdzie założenia mogły przeistoczyć się w końcowy projekt. W ramach naturalnego rozwoju technologii deska kreślarska została przeniesiona do świata wirtualnego jako środowisko CAD (ang. Computer Aided Design), projektowanie wspomagane komputerowo. Od tej znaczącej zmiany, rozwój formy pracy projektantów opierał się jedynie na wprowadzaniu przez producentów oprogramowania rozszerzeń oraz usprawnień do programów.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, jaroslaw.zak@pollub.edu.pl

Porównywalnie dużą zmianą, co przejście z deski kreślarskiej na stanowiska komputerowe jest wprowadzenie technologii BIM jako formy projektowania globalnego danego obiektu [1].

CZYM JEST BIM?

Building Information Modeling, czyli modelowanie informacji o budynku jest pewnego rodzaju koncepcją, założeniem i podejściem do tematyki projektowania. Obiekty, których realizacja zakłada współpracę międzybranżową wymagają koordynacji i nadzoru. BIM wychodzi naprzeciw temu dając jednocześnie znacznie większe możliwości w pracy wielowymiarowej nad danym obiektem. Nawiązując do wielowymiarowości większość z nas słysząc pierwszy raz o technologii parametrycznego modelowania informacji o budynku utożsamia ten proces jedynie z przejściem postaci rysunku w 2D do modelu w postaci bryły 3D. Możliwość pracy na obiekcie w postaci bryły jest dopiero początkiem tego ile aspektów i zagadnień pracy możemy połączyć w jednym środowisku [1-3].



Rys. 1. Wizualizacja elewacji budynku projektowanego w technologii BIM

Poza aspektami rzucającymi się na pierwszy rzut oka budynek projektowany w technologii BIM to od początku to końca prac projektowych organizm, którego rozwój kształtowany jest w czasie rzeczywistym. W przypadku starszych technologii poszczególne elementy były odseparowane, każda z branż posiadała swoją część uzgadnianą i konsolidowaną z innymi dziedzinami w czasie zadania. Całość zabierała czas i środki. Obiekt BIM poza szczegółowym zewnętrzem posiada w sobie wszelkie informacje wymagane do jego budowy i użytkowania. Poza geometrią mamy w jednym miejscu instalacje i systemy elektryczne jak i sanitarne, dysponujemy danymi o wymianie ciepła, obciążeniach, wpływie przewidywanych zmian atmosferycznych. Ponadto dzięki uproszczonej formie, inwestorzy mogą osobiście ocenić format i założenia, nanieść uwagi czy wskazać wymagane elementy. Tak przedstawiona bryła nawet dla laika jest bardziej

przyjazna niż specyficzna i często bardzo zawodowa dokumentacja techniczna w standardowym formacie. [3]

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA W CYKLU PROJEKTOWYM

Najbardziej utożsamianą z BIMem właściwością projektowanego budynku jest jego wizualizacja, niezmiernie ważny aspekt każdej inwestycji. Możliwość umiejscowienia budynku objętego pracami w przestrzeni docelowej, dokładnie na tym miejscu, gdzie będzie służyć w przyszłości doskonale pokazuje nam, w jaki sposób całość komponuje się z otoczeniem i jakie poprawki warto wprowadzić.

Dzięki jednoczesnej pracy kilku zespołów nad danym obiektem niwelujemy do minimum lub nawet zera ewentualne kolizje i sprzeczności w projektowanych instalacjach. Praca w czasie rzeczywistym wpływa nie tylko na komfort, jest również ogniwem w łańcuchu optymalizacji i oszczędności. Brak opóźnień spowodowanych brakiem natychmiastowej odpowiedzi wpływa dobrze na zaangażowanie i skupienie uwagi na podejmowanych działaniach, projektowych.

Temat oszczędności już na etapie prac koncepcyjnych jest coraz częściej poruszany wśród środowiska wykonawców i inwestorów. Dzięki wspólnej pracy branżystów nad projektem w dowolnym momencie możemy w przeciągu chwili wygenerować zestawienie kosztu danego etapu inwestycji uwzględniając poczynione już kroki optymalizacyjne dzięki wspólnej pracy i natychmiastowej koordynacji decyzji [2].

Docelowy, ukończony model budynku ma również zastosowanie po etapie prac projektowych. Będący w posiadaniu tak przygotowanego schematu inwestor z powodzeniem może zaaplikować go jako bazę systemu zarządzania budynkiem. Posiadając pełny obraz obiektu i parametryzację wszelkich rozwiązań nadzorca w prosty i szybki sposób potrafią namierzyć i usunąć jakąkolwiek awarię czy odstępstwo od poprawnego działania obiektu.

Kluczem do sukcesu omawianej formy definiowania przyszłej budowli jest początkowy etap prac. Wówczas największa odpowiedzialność pada na architektów oraz konstruktorów. By móc dobierać poszczególne rozwiązania inżynierowie sanitarni oraz elektrycy muszą dysponować logiczną i uporządkowaną bryłą. Zaniedbania na etapie architektury oddziałują do końca zadania generując błędy i koszty wiążące się z poprawkami.

Poprawnie zaprojektowany budynek możemy poddać wielorakim symulacjom pozwalającym określić sposób i koszt jego działania w następnych latach. Zmiana parametrów zadanych jest tutaj niezwykle prosta dzięki integracji różnych systemów i rozwiązań, np. ekspresowo można określić wpływ zmiany mocy elektrycznej odbiorów sanitarnych na całą instalację, co za tym idzie określić wymagane usprawnienia i zmiany, a także wszystko skosztorysować i opisać jeszcze tego samego dnia [2–4].

W czasie życia budynku poszczególne jego elementy degradują się, wymagają zmiany czy też z racji biegnącego czasu stają się przestarzałe. Model w technologii BIM może być swego rodzaju magazynem danych o tych wydarzeniach. Zebrane doświadczenia pomogą dobierać nowe, bardziej odpowiednie rozwiązania w ramach danej technologii, a tym samym optymalizować projektowane instalacje.

AEC A BIM W POLSCE

Rozważania na temat istotności idei BIM w naszym kraju należy rozpocząć od uwzględnienia faktu, iż tak naprawdę to podejście, ten sposób projektowania dopiero raczkuje na naszym terenie. Skrót AEC, "Architecture, Engineering, Construction", oznaczające połączenie podstawowych dziedzin budowlanych jasno określa jaką grupę należy ujednolicać. Dotychczas w kraju, działania podejmowane w celu kształtowania poszczególnych obszarów z zakresu budownictwa zawsze były opierane na tych samych schematach. Jak w każdej profesji i tutaj następuje zmęczenie materiału, powolne, żmudne wyczerpanie formuły podejmowanych działań. Rynek domaga się powiewu świeżości, podejścia które rewolucjonizuje schemat poprzez nagłą ewolucję. Ewolucję, ponieważ BIM jest jedynie kolejnym, jednakże bardzo ważnym etapem w historii projektowania.

To co jest nowością generującą nowy ruch na krajowej scenie inżynierów budownictwa wprawia świat w osłupienie już ponad 10 lat. W 2008 roku analitycy z McGraw-Hill Construction przeprowadzili rynkowe badania wpływu nowych technologii wprowadzanych w ramach idei BIM. Największy wpływ na swoją pracę odczuli architekci, ponad 60% badanych określiło wpływ przestrzennego modelowania informacji o budowlu jako bardzo pozytywny, ułatwiający i usprawniający pracę. Ponad 79% zapytanych branżystów odpowiedziało, iż modelowanie przestrzenne zmniejsza ilość zapytań, wymagań konkretyzacji poszczególnych elementów i rozwiązań. Właściciele biur projektowych, kierownicy projektów w ponad 66% ankietowanych wskazało technologię projektu jako jeden z głównych powodów otrzymania kontraktu [7].

W Polsce badania nad BIMem są bardzo ograniczone, często opierają się na małych grupach realizujących niewielkie projekty. W ramach rozwoju i zaznajomienia się z systemem działania, pojawiają się duże, wielomilionowe inwestycje od początku do końca realizowane w BIM. Te przykłady będą kopalnią wiedzy dla naukowców pragnących wprowadzać optymalizacje oraz budować systemy organizacji pracy, tak by nowe narzędzia pozwoliły z jeszcze większą dokładnością ustrzeżać się błędów i niedopatrzeń [6].

BENEFITY BIM

Oszczędność, słowo, które jako pierwsze powinno padać z ust osób pytanych o zalety BIM. Brak dodatkowych, zbędnych i niechcianych wydatków wiąże się praktycznie z każdym elementem, który zawieramy w projekcie, w końcu wiele z nich może być obciążonych błędem lub już na etapie koncepcji być wprowadza-

dzonych niepotrzebnie lub z dużym zapasem. Poprawki, zmiany, usprawnienia, każde działanie pochłania czas, im większa inwestycja tym więcej czasu, a im więcej czasu tym więcej kosztuje projekt.

Częste kolizje następują w przypadku rozpatrywania projektów branży elektrycznej oraz sanitarnej. Charakterystyka rozwiązań wykorzystywanych przez obie specjalizacje wiąże się z potrzebą wygospodarowania odpowiedniej przestrzeni instalacyjnej. Najpopularniejszymi problemami na budowach są zbliżenia, kolizje, skrzyżowania duktów wentylacyjnych oraz tras kablowych. Każde z rozwiązań wymaga pewnych założeń, o których nie można nie zapominać, obciążenie, wielkość, drożność. Możliwość parametryzacji wszystkich długości elementu jasno określa, w którym miejscu spotykamy się z niepożądanym ukształtowaniem instalacji mogąc wyeliminować je kilkoma poleceniami programu [3-6].



Rys. 2. Trasy kablowe kształtowane przestrzennie

Poza oszczędnościami BIM generuje powszechnie rozumiane informacje prezentowane w przystępny sposób. Dzięki przejrzystości inwestorzy bądź udziałowcy widzą na pierwszy rzut oka, w jaki sposób spożytkowane będą ich pieniądze. Analizując psychologię sprzedaży można zauważyć rolę odbioru wizualnego w wpływie na podjęcie ostatecznej decyzji klienta. Tworząc dokumentację panowało przeświadczenie, iż im obszerniejsza jest fizycznie jako wydruk, tym większe napracowanie sobą reprezentuje. Obecnie nikt nie posuwa się do takich sugestii, model wizualizuje wszelkie instalacje i rozwiązania, pokazuje działanie technologii, a także pozwala symulować czas pracy zakładów, czy budynków użyteczności publicznej. Oczy inwestorów widzą realny budynek, który już za moment stanie się ich własnością. Mając w głowie inwestycje ocze-

kują budynków, sowych fabryk czy osiedli, pragną choćby wirtualnie doświadczyć kontaktu z obiektem. W rezultacie tacy klienci pozostają we współpracy z danym biurem tworząc sytuację win-win.

Szybkość zmian, responsywność modelu, koordynacja – zalet pracy w środowisku wizualizacji informacji jest niezmiernie wiele, większość wiąże się z bryłą obiektu natomiast równie ważną grupą plusów technologii BIM jest generowanie informacji pisanych. Zestawienia, wkłady kosztorysowe, listy sygnałów itp., dokumenty dotychczas tworzone mozolnie przez pracowników, obecnie możliwe do wygenerowania w kilka chwil. Wracamy wyżej i znowu wprowadzamy oszczędności. Jest w tym jednak pewien haczyk, źle opracowany model będzie generował złe zestawienia, a od tego błędy szacunkowe i kosztorysowe [3–6].

RYZIKO STOSOWANIA BIM

Najważniejszy plus, czyli wielowątkowość procesu projektowego obierająca za obiekt pracy jeden model jest jednocześnie największą wadą pracy w BIM. Bez odpowiedniej koordynacji nawet w najlepszym zespole pojawią się pomyłki, nieodpowiednie doборы, niezgodność harmonogramu. Działania podejmowane na modelu mają charakter osobowy, jeden pracownik wprowadza tylko jedną informację w danym czasie. Poleganie jedynie na zobrazowanym modelu, dochodzenie do nowych informacji oraz kroki podejmowane w celu weryfikacji rozwiązań zabierają czas i potrafią wprowadzać mętlik. Podstawowym rozwiązaniem takich zagrożeń jest łączenie samej myśli projektowej z nowoczesną formą komunikacji, biura mieszczące się w różnych lokalizacjach potrzebują budowy wirtualnego open space'a umożliwiającego natychmiastowe koordynowanie działań. Dotychczas mocno eksploatowany środek komunikacji, jakim były maile powoli będzie musiał iść w odstawkę jako narzędzie do generowania wiadomości wiążących. Możliwość pracy na jednym modelu musi łączyć z sobą natychmiastową komunikację, bez większych opóźnień i zwłok. Z tego rodzi się kolejny niepewny scenariusz rozwoju tej technologii. Idea wspólnego projektu pozwalającego na jednoczesną pracę musi iść w parze z ideą bezzwłocznej komunikacji bez względu na odległość. Wzrośnie wówczas terminowość i koncentracja nad pracą przy danym temacie, oszczędzi interpretacji i domysłów, pozwoli równolegle w kilku miejscach jednocześnie nanosić poprawki danego elementu. Bez tego sam BIM dużo straci [2].

Drugim zagrożeniem jest odpowiedzialność, a właściwie jej brak. Przy natłoku ludzi pracujących równolegle przy danym zadaniu nie sposób jest każdą zmianę przypisać do konkretnej osoby, a co za tym idzie pociągnąć jej do odpowiedzialności. W przypadku rozwoju monitoringu kroków podejmowanych przez daną jednostkę jesteśmy w stanie kłaść nacisk na podejmowane realizacje mając nadzór nad działaniami.

Czy przy tak niewielu zagrożeniach jesteśmy powiedzieć, że BIM jest idealny? Niestety nie, ten sposób myślenia projektowego rozwija się prężnie i to do-

piero przyszłość pokaże nam, w jakie zagrożenia czekają na nas w przypadku realizacji budowli z gotowych modeli przestrzennych [1-3].

WYZWANIA STAWIANE PRZED BIM

Dla nas projektantów, nowe, usprawniające pracę narzędzia są zawsze czymś mile widzianym. Jednak czy inwestorzy przyjmą to jako wartość dodaną do produktu, którego oczekują? Czy będą gotowi zapłacić więcej za kompleksowy model skoro na bazie dokumentacji 2D powstało już miliony obiektów na całym świecie? Nowy produkt wymaga nowego podejścia, branżyści muszą pokazać się tak jak do tej pory architekci. Inwestorzy muszą zobaczyć funkcjonalności sterowania oświetleniem, rozwiązania sanitarne, udogodnienia i usprawnienia w formie działających obiektów. Fakt posiadania modelu i wprowadzania animowanych symulacji wprowadza tutaj możliwość prowadzenia marketingu zwiualizowanego. Poza opisem rozwiązań inwestorzy zobaczą je praktycznie namacalnie [2-4].

Czy to nie za dużo powiedziane? Rozwój technologii za niedługi czas pozwoli stosować modele i obiekty tworzone w biurach w ramach rozszerzonej rzeczywistości. Przy pomocy wystarczająco mocnych jednostek obliczeniowych będziemy w stanie wprowadzić inwestora do budynku, który nie zszedł do końca z deski kreślarskiej. Idąc dalej, budowa odpowiednio szczelnej bazy artykułów i rozwiązań pozwoli projektować w całości w wirtualnej rzeczywistości, gdzie model nie będzie miał przed nami zupełnie żadnych tajemnic.

Przytaczane tezy wydają się teraz mocno abstrakcyjne, ale przecież żyjemy w czasach, których wyobrażenia dla ludzi sprzed Wielkiej Wojny były z pogranicza fikcji naukowej [3].

Poza wybiegami w dziesięcioletnią przyszłość to, nad czym teraz musi skupić się BIM to optymalizacja. Uszczelnienie procesów projektowych, zorganizowana i usystematyzowana wymiana danych, szybkość reakcji w temacie zmian. Wraz z rozpowszechnieniem środowiska, zwiększeniem się ilości użytkowników nastąpi znaczny rozwój poszczególnych elementów BIM.

WNIOSKI

Modelowanie informacji o budynku utożsamiane jest z innowacyjnością, świeżością, podejściem z nowej perspektywy. W rezultacie jest ewolucją konceptu projektowania, które dobrze znamy. Wraz z rozwojem technologii a co za tym idzie wymagań stawianych w procesie projektowym należało opracować rozwiązanie pozwalające nadać nowy trend w działaniu.

Projektowanie w sposób całościowy przyspiesza pracę, ogranicza błędy, sprawia, że model jest rozwijającym się organizmem, którego wszelkie niepasujące do siebie tryby wychwytywane są jeszcze przed ich inwazyjnym wpływem na całość obiektu.

Środowisko branżystów MEP odpocznie od kolizji i niespodzianek. Organy z grupy AEC na bazie swoich dotychczasowych doświadczeń w BIM wytworzy-

ły już pewne paradygmaty zachowania w trakcie współpracy, pozwalające unifikować poczynione zmiany by każda nowa ewentualność nie burzyła dotychczasowych osiągnięć sąsiadów.

BIM nie będzie lekiem na całe zło procesów projektowych. BIM jest przystankiem na drodze do rozwiązywania ultymatywnego. Jesteśmy blisko końca tej drogi. W ramach przyjętych standardów i rozumienia świata na obecnych zasadach rozwój technologii BIM w rezultacie stworzy narzędzie na miarę naszych czasów. Narzędzie pozwalające informację zamieniać w rezultat projektowy w sposób, którego jeszcze się nie domyślamy.

LITERATURA

- [1] Tomana A., BIM Innowacyjna Technologia W Budownictwie, Podstawy Standardy Narzędzia, Wydawnictwo PWB Media, Warszawa, 2016
- [2] Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P., BIM w praktyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2018
- [3] Jamroży, M. iBIM – projektowanie wielowymiarowe. Archivolta 2015, 1(65)
- [4] Sumlet, W. Open BIM – o co chodzi z IFC? Archivolta 2015, 2(66)
- [5] Szczepaniak, R. BIM – kooperacja w procesach budowlanych (cz. 1). Builder 9/2015
- [6] Orlińska-Dejer K. Przedmiar BIM a przedmiar klasyczny. Budownictwo i Prawo, 2017
- [7] Tomana, A., Kogut, P., 4D and 5D applications in BIM technology. Poznań: Computer Methods in Mechanics 2013
- [8] Szczepaniak, R. BIM – fakty i mity. Zawód: Architekt, #46 wrzesień/październik 2015.

NOWOCZESNE SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA W POJAZDACH

WSTĘP

Na polskich jak i światowych drogach jeździ coraz więcej pojazdów samochodowych. Tendencja rozwojowa systemów bezpieczeństwa czynnego jak i biernego pozwala na bezpieczniejsze pokonywanie podróży samochodem ograniczając przy tym wypadkowość. Mimo wprowadzenia wielu rozwiązań zwiększających poczucie bezpieczeństwa podczas podróży samochodem, dochodzi jednak do wielu wypadków drogowych. Spowodowane one są nadmierną prędkością, nieumiejętnością wyprowadzenia samochodu z poślizgu, nieznajomością przepisów drogowych, złym stanem nawierzchni czy jazdy po spożyciu alkoholu. Z roku na rok unowocześniane są systemy bezpieczeństwa i wprowadzane do nowych aut jako wyposażenie podstawowe. Dąży się do zmniejszenia liczby wypadków poprzez wprowadzenie nowych technologii, asystentów czuwających nad prowadzeniem auta i ułatwiających jazdę podczas trudnych warunków pogodowych.

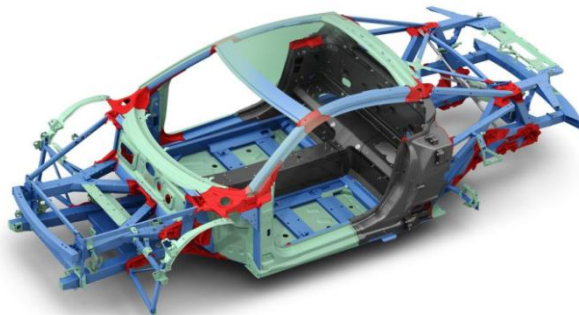
SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA BIERNEGO

Systemy bezpieczeństwa biernego mają na celu ograniczenie skutków kolizji lub wypadku drogowego kierowcy, pasażerów oraz innych uczestników w ruchu drogowym. Dotyczy to sytuacji w której kierowca, niezależnie od zastosowanych systemów bezpieczeństwa czynnego, nie jest w stanie wpłynąć na ruch pojazdu i uniknąć kolizji drogowej [1].

Głównymi urządzeniami zabezpieczającymi osoby będące w pojeździe są: pasy bezpieczeństwa, zagłówki, poduszki oraz kurtyny powietrzne. Koncerny samochodowe z każdym rokiem unowocześniają te systemy, wprowadzając większą ilość kurtyn i poduszek powietrznych. Bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów zapewniane jest także poprzez przemyślane projekty szkieletu nadwozia pojazdu (Rys. 1). Każde auto to bardzo przemyślana konstrukcja metalowa zawierająca wzmocnienia i usztywnienia ramy nadwozia, które zaopatrzone są w strefy kontrolowanego zgniotu. Zwiększenie wzmocnienia bocznych drzwi konstruowane są do pochłaniania jak największej ilości energii przekazanej podczas zderzenia bocznego. Nawet zwykły zamek do drzwi konstruowany jest w specyficzny sposób tak aby podczas wypadku drzwi nie otworzyły się, lecz po wypadku drzwi były łatwe do otwarcia, aby móc wyprowadzić z pojazdu osoby

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, lukasz.gozdera@gmail.com

poszkodowane. Przednia część auta w nowych samochodach zdolna jest do absorbowania siły uderzenia, a część pasażerska jest sztywna i wytrzymała poprzez zastosowanie klatki bezpieczeństwa [2].



Rys. 1. System bezpieczeństwa biernego – konstrukcja ramy auta [3]

Projektując samochody ważne jest to aby nie zawierały ostrych elementów, a także łatwopalnych i toksycznych materiałów, które w razie wypadku mogłyby być zagrożeniem dla osób znajdujących się w pojeździe. Szyba przednia – element który wydawałaby się mieć jedynie zastosowanie do widoczności podczas jazdy oraz separacji kierowcy i pasażerów ze światem zewnętrznym są także elementami, które po kolizji można w łatwy sposób wypchnąć w celu ułatwienia dostępności do uszkodzonych, dzięki zastosowaniu odpowiednich mocowań i klejów [2, 4].

Systemy bezpieczeństwa biernego dotyczą także pieszych. Zastosowanie nieostrych krawędzi przodu auta czy niewystających klamek mają na celu ograniczenie skutków potrącenia. Przedni zderzak pojazdu projektowany jest także z myślą o kolizji z pieszym. Część ta projektowana jest w taki sposób, aby podczas potrącenia siła uderzenia nie skupiała się w jednym punkcie nogi, a na całej jej długości, co więcej zbudowane są z materiałów które podczas zderzenia z człowiekiem odkształcają się w odpowiedni sposób, absorbując siłę uderzenia [2, 5].

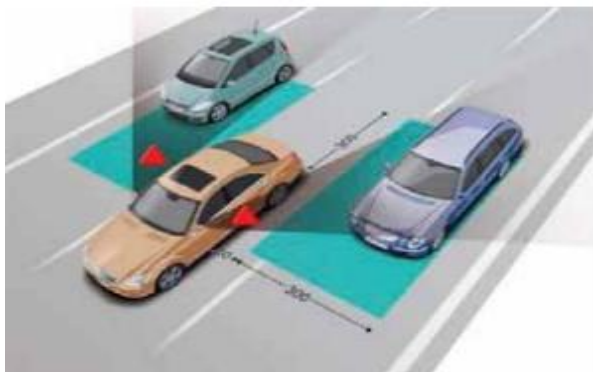
SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA CZYNNEGO

Systemy bezpieczeństwa czynnego mają na celu zmniejszenie liczby wypadków drogowych z innymi uczestnikami ruchu drogowego. Obejmują one elektroniczne rozwiązania o właściwościach dynamicznych, jak np. nieodrywanie kół od nawierzchni drogi podczas hamowania, ograniczenia poślizgu i zarzucania [6].

Jednym z systemów które obowiązkowo muszą być stosowane jako wyposażenie podstawowe pojazdów jest system ESP. Jest to najbardziej zaawansowany system, z którym współpracują inne systemy bezpieczeństwa. W skład ich

wchodzi głównie: ABS (system zapobiegania blokowaniu się kół podczas hamowania), ASR (system zapobiegania poślizgowi kół), EDS (elektroniczna blokada mechanizmu różnicowego), EBD (elektroniczny rozdział sił hamowania) [7].

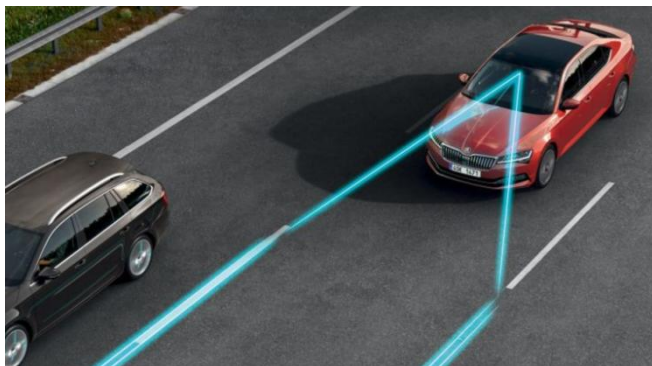
Do nowoczesnych systemów bezpieczeństwa zalicza się system nazywany asystentem martwego pola. Jest to technologia złożona z czujników w tylnym zderzaku bądź kamer oraz radarów w lusterkach zewnętrznych które w sposób ciągły monitorują wystąpienie pojazdu w martwej strefie co pokazuje rysunek 2. Asystent ten wspomaga kierowcę podczas chęci wyprzedzania innego kierowcy bądź zmiany pasa ruchu na którym znajduje się już pojazd przed potencjalnym zagrożeniem zderzenia się z nim lub niebezpiecznego wymuszenia pierwszeństwa. System ostrzega kierowcę poprzez sygnał świetlny pojawiający się w lusterkach bocznych bądź sygnałem dźwiękowym [8].



Rys. 2. System martwego pola [8]

W 2019 roku Unia Europejska nakazała, aby system pasa ruchu był obowiązkowym systemem dla nowo powstałych modeli samochodów jako wyposażenie podstawowe. Jest to system który został wprowadzony pierwszy raz przez markę Mitsubishi w roku 1992. Do dnia dzisiejszego technologia ta jest unowocześniana dzięki czemu jest ona coraz bardziej dokładna, a zadziałanie jej jest znacznie szybsze. System ten informuje kierowcę przed przekroczeniem pasa jezdni bez włączonego kierunkowskazu. Kamera umieszczona z przodu pojazdu monitoruje poziome pasy jezdni po obu stronach pasa ruchu, co widać na rys. 3. Jeżeli kamera ta wykryje niezamierzone zjechanie z pasa ruchu, asystent ten dokona korekty i automatycznie kieruje auto na tor jazdy [9].

Kolejnym systemem bezpieczeństwa czynnego jest asystent awaryjnego hamowania. Technologia ta rozpoczyna hamowanie w sytuacji, gdy istnieje duże ryzyko zderzenia się z pojazdem z przodu. Za pomocą radaru w przedniej części auta system wykrywa przeszkody znajdujące się na tym samym pasie ruchu obliczając różnicę prędkości obu pojazdów bądź pojazdu i przeszkody.



Rys. 3. System utrzymania pasa ruchu[9]

Gdy auto zbliża się znacznie do pojazdu z przodu system pierw informuje kierowcę sygnałem dźwiękowym, a gdy ten nie zareaguje w odpowiednim czasie, system sam steruje układem hamulcowym (nie odbierając kierowcy pełnej kontroli nad pojazdem) i dokonuje awaryjnego hamowania. Asystent ten nie zawsze zapobiegnie wypadkowi, aczkolwiek zminimalizuje w stopniu znacznym skutki wypadku poprzez zmniejszenie prędkości pojazdu [6].

Asystent jazdy nocnej oraz adaptacyjne reflektory to dwie technologie, które zamieniają noc w dzień. Adaptacyjne reflektory przednie umożliwiają jazdę ze światłami drogowymi nawet w sytuacji, gdy inne auto jedzie w przeciwnym kierunku do naszego, czy też jedzie w tym samym kierunku przed nami. System ten ściemnia do odpowiedniej odległości wiązkę światła tak aby ona nie oślepiała innego kierowcę, a tym samym doświetla pobocze i miejsca poza obszarem innego pojazdu. Podczas jazdy nocą bez tego systemu jesteśmy w stanie zauważyć zagrożenie w odległości do 40 metrów. Jest to dystans niewystarczający do zatrzymania pojazdu jadącego 100 km/h. Posiadając adaptacyjne reflektory mamy szansę dostrzec niebezpieczeństwo w odległości od 100 do 200 metrów. Technologia ta współpracuje z systemem jazdy nocnej który wyposażony jest w noktowizor lub kamery na podczerwień. System jazdy nocnej pokazuje w sposób ciągły na ekranie deski rozdzielczej widok z noktowizora. Obraz ten wyszczególnia obiekty wydzielające ciepło. System oznacza je żółtym kolorem na ekranie, odznaczając przy tym potencjalne zagrożenie. Dzięki temu możliwe jest zidentyfikowanie w znacznej odległości pieszego bądź zwierzęcia, a przy tym uniknięcia zderzenia się z nim [10].

Innym systemem bezpieczeństwa jest system Drive Alert który monitoruje stan zmęczenia kierowcy. Technologia ta działa na podstawie analizy toru jazdy, płynności ruchów kierowcy oraz informacji z czujników monitorujących parametry życiowe kierowcy. Zgromadzone informacje są weryfikowane przez system, który ostrzega przed nadmiernym zmęczeniem sygnałem dźwiękowym lub świetlnym [11].

Do pojazdów samochodowych dołączane są również blokady alkoholowe co jest niezbyt popularne w Polsce. System ten łączy alkomat z rozrusznikiem samochodu. Tendencja ta polega na tym, iż przy załączeniu samochodu kierowca musi dmuchnąć w alkomat, aby system mógł zdecydować czy ma odblokować rozrusznik czy też nie [12].

Do systemów bezpieczeństwa czynnego można zaliczyć także system rozpoznawania znaków drogowych. Technologia ta została zapoczątkowana i stosowana w samochodach klas Premium. Obecnie wykorzystywana jest już w popularnych modelach kompaktowych. System ten posiada kamerę umieszczoną w stopce wewnętrznego lusterka wstecznego która identyfikuje znaki ograniczenia prędkości i zakazy. Technologia ta współpracuje z systemem nawigacji, gdyż powiadomienia o znakach wyświetlane są dodatkowo na ekranie aktywnej nawigacji [13].

Auta klasy Premium wyposażone są w system kamer 360 stopni. Dzięki umiejscowieniu od 6 do 8 kamer wokół samochodu, komputer sterujący pozwala na umiejscowienie auta w otoczeniu odczytanym z danych zapisanych w nawigacji satelitarnej (rys.4). Pozwala kierowcy zobaczyć co się dzieje wokół jego samochodu. System ten ułatwia wykonywanie manewrów w ciasnych parkingach. W przypadku pojawienia się przeszkody w otoczeniu samochodu, kierowca może przybliżyć obraz w systemie, a tym samym z chirurgiczną precyzją ominąć przeszkodę. Dzięki tej technologii kierowca jest w stanie zminimalizować ryzyko uszkodzenia swojego oraz innego pojazdu. Jediną wadą tego systemu jest częste brudzenie się obiektywów w złych warunkach pogodowych co wpływa potem na jakość wirtualnego obrazu [14].



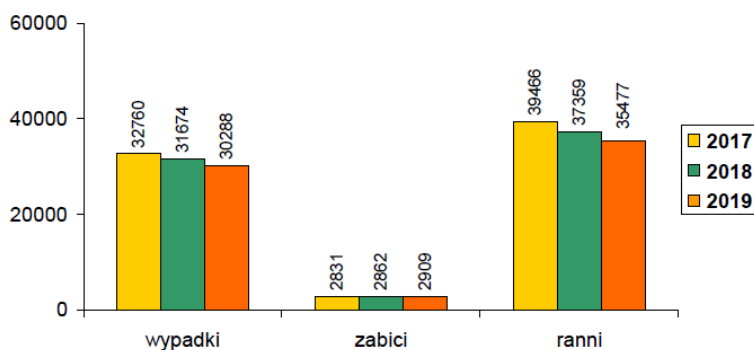
Rys. 4. System kamer 360 stopni [13]

Istnieją także systemy które przygotowują pojazd do kolizji podczas jazdy poprzez naciąganie pasów bezpieczeństwa, domykanie okien oraz korektę elektrycznie ustawianych foteli. W przypadku gdy kolizje uda się uniknąć system powraca do poprzednich ustawień kierowcy. W niektórych pojazdach występują

specjalne hamulce, które po kolizji automatycznie się załączają w celu uniknięcia kolejnej kolizji. Nowe auta posiadają też system SOS, który wzywa automatycznie zespół ratunkowy na miejsce wypadku.

WPLYW SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA NA WYPADKOWOŚĆ KIEROWCÓW

Zmiany w budowie auta na przestrzeni lat przyczyniają się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa. Potwierdzają to dane statystyczne o wypadkach drogowych i ich skutkach. Na rys. 5. przedstawiono dane statystyczne dotyczące liczby wypadków i ich skutki ogółem w Polsce w latach 2010 – 2019. Dane statystyczne pokazują również spadek ogólnej liczby ofiar śmiertelnych oraz osób rannych. Świadczy to głównie o efektach które przynoszą badania prowadzenia w celu poprawy bezpieczeństwa biernego [15].



Rys. 5. Dane statystyczne liczby wypadków oraz ich ofiar [15]

Ogromny wpływ na liczbę wypadków mają również wypadki z udziałem nietrzeźwych kierowców. Na wypadkowość główną przyczyną są także warunki pogodowe (opad deszczu i śniegu, mgły, silny wiatr czy oślepiające słońce) [15].

PODSUMOWANIE

Koncerny samochodowe zwracają szczególną uwagę, aby ich samochody nie tylko wyglądały czy były komfortowe podczas jazdy, ale także bezpieczne. W ostatnich latach można dostrzec duży postęp technologiczny rozwoju elektroniki, która jest głównym elementem systemów opisanych w artykule. Co prawda wiele systemów jest wyposażeniem dodatkowym który kosztuje niemałe pieniądze. Jest wiele pomysłów i rozwiązań na które będziemy musieli poczekać. Samochód XX wieku to nie tylko silnik, kierownica, fotel i koła ale innowacyjna technologia posiadająca także zestawy czujników, laserów, radarów oraz kamer które monitorują sytuacje na drodze. To asystenci wspomagający kierowcę podczas jazdy dzięki którym liczba wypadków zmniejsza się z każdym rokiem.

LITERATURA

- [1] Prochowski L., Zuchowski A. Właściwości nadwozia w zakresie pochłaniania energii podczas uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę. „Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika, 2006, Z. 84
- [2] Wicher J. Bezpieczeństwo samochodu I ruchu drogowego. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2012
- [3] <http://www.audi-mediacycenter.pl/technika,bezpieczenstwo>, zasoby z dnia 16.02.2020
- [4] Chłopek Z. Ekologiczne aspekty motoryzacji I bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012
- [5] Ramaszewski E. Systemy bezpieczeństwa – standardowe i innowacyjne. „Nowoczesny Warsztat” 2014, 11
- [6] Reński A. Bezpieczeństwo czynne samochodu. Zawieszenia oraz układy hamulcowe i kierownicze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011
- [7] Starkowski D., Bieńczak K., Zwierzycki W. Samochodowy transport krajowy i międzynarodowy. Kompendium wiedzy praktycznej. T. I, Systherm, Poznań 2010
- [8] Nowotyńska I. Systemy wspomagające bezpieczeństwo w transporcie drogowym. „Czasopismo Autobusy”, 3/2013, 1303-1310
- [9] Novak M. Jak działa Lane Assist? Wyjaśnimy wszystko o systemie utrzymywania pasa ruchu. <http://www.autohled.cz.>, zasoby z dnia 20.08.2019
- [10] Niechaj T. HD Matrix LED + Night Vision w Audi A6/A7/Q8. Kiedy noc staje się dniem. Test. <http://www.antyweb.pl>, zasoby z dnia 19.11.2018
- [11] Artykuł partnera „Nowoczesne systemy bezpieczeństwa w aucie, o których warto wiedzieć”, <https://www.dzienniknaukowy.pl>, zasoby z dnia 01.04.2020
- [12] Budzik T. Blokada alkoholowa mało popularna. Zdaniem RPO trzeba to zmienić. <http://www.moto.wp.pl>, zasoby z dnia 23.08.2018
- [13] Korzeniowski B. System rozpoznawania znaków drogowych. <http://www.magazynmotomi.pl>, zasoby z dnia 06.01.2018
- [14] Mokwiński P. Radio i klimatyzacja w samochodzie to standard. Za co warto dopłacić podczas zakupu auta?, zasoby z dnia 17.07.2018
- [15] Dane Komendy Głównej Policji, <http://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy>, zasoby z dnia 16.02.2020

MODEL LABORATORYJNY DO GENEROWANIA SYGNAŁÓW I OBSŁUGI URZĄDZEŃ ZEWNĘTRZNYCH ZA POMOCĄ STEROWNIKA PLC

WSTĘP

Programowalne sterowniki logiczne w skrócie PLC (ang. programmable logic controller) [1] są wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu, jak i instalacjach domowych, alarmowych [2]. Coraz powszechniejsza technologia, miniaturyzacja oraz potrzeba szybkich zmian wymusza na producentach coraz to szybsze, tańsze i bardziej niezawodne sterowniki PLC. Przed erą sterowników układy logicznego sterowania były budowane na zasadzie odpowiedniego okablowania grupy przekaźników. Układy takie miały wiele wad, z których jedną z największych było ponowne okablowanie układu w celu zmiany funkcji jaką miał taki układ spełnić. W przypadku sterowników PLC wystarczy zmiana w programie i wgranie nowego programu do sterownika, co jest dużo szybsze i łatwiejsze w wykonaniu. Dodatkowo przed wgraniem nowego programu można go sprawdzić w działaniu za pomocą symulacji. Dzisiejsze sterowniki pozwalają na cięcie kosztów produkcji, zwiększenie jakości poprzez pełną automatyzację. Wielu wiodących producentów takich jak FANUC, OMRON, EATON, MITSUBISHI, SIEMENS i inni prześcigają się we wprowadzaniu coraz to lepszych rozwiązań ułatwiających pracę konstruktorom, programistom jak i zwykłym pracownikom w fabrykach pracujących w służbach utrzymania ruchu. Obecny sterownik serii S7-1200 jest następcą nowoczesnych jak na swoje czasy serii S5 oraz sterowników serii S7-200.

Stanowisko laboratoryjne do zadawania sygnałów cyfrowych i analogowych oparte na sterowniku S7-1200 [3] firmy Siemens ma na celu zapoznanie z budową, działaniem jak i sposobem połączenia z komputerem PC w celu zaprogramowania sterownika do wykonywania przez niego określonych zadań. Głównymi założeniami przy budowie stanowiska były: solidna i estetyczna konstrukcja, zabezpieczenie układu przed zwarciami, ergonomia podczas obsługi oraz wizualizacja stanów wejść oraz wyjść.

STEROWNIK SIEMENS S7-1200 ORAZ ROZSZERZENIA

Sterowniki S7-1200 są kontynuacją rodziny sterowników kompaktowych serii S7-200 oraz połączeniem serii S7-300 z uwagi na ich kompaktowość i w niewielkim stopniu modułową budowę. Ich cena i możliwości są uzależnione

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, shoei24h@o2.pl

od tego jaki model jest użytkownikowi potrzebny. Wersja podstawowa CPU 1211C w której producent nie przewidział rozbudowy o dodatkowe moduły, a liczba wejść/wyjść jest ograniczona do 14, oraz wersja na chwilę obecną najbardziej rozbudowana CPU 1217C która umożliwia z modułami rozszerzającymi obsłużyć aż 284 wejść/wyjść cyfrowych oraz 69 wejść/wyjść analogowych.

Sterowniki produkowane są również w wersji przystosowanej do budowy obwodów bezpieczeństwa, przykładem może być rodzina sterowników Failsafe CPU jak np. CPU 1212FC. Ciężkie warunki pracy takie jak wibracje oraz narażenie na uszkodzenia mechaniczne lub różne zakresy napięciowe, narażenie na wilgotność lub różne rodzaje szkodliwych gazów w powietrzu zachęciły producenta do wydania uodpornionej na takie warunki serii sterowników rodziny SI-PLUS CPU. Rysunek 1 przedstawia sterownik SIMATIC S7-1200 model 1214C z widocznymi opisami producenta które opisano poniżej.



Rys. 1. Sterownik Siemens S7-1200

Diody LED statusu oznaczają:

- RUN/STOP – dioda dwukolorowa oznacza tryb pracy sterownika. zielony - praca, pomarańczowy - STOP oraz pulsacyjny - restart sterownika;
- ERROR – światło ciągle oznacza błąd sprzętowy, pulsowanie oznacza błąd wewnętrzny;
- MAINT – służy ona do sygnalizacji stanu lub czynności związanych z oprogramowaniem sterownika tzw. firmware.

Bardzo ważnym z punktu widzenia serwisowania sterowników jest ich numer zamówieniowy zaznaczony na rysunku 2. W przypadku kiedy zaistnieje sytuacja potrzeby wymiany z różnych względów sterownika lub karty rozszerzeń.

Sterownik 1214C można rozbudować o dodatkowe moduły, dzięki wbudowanym złączom zlokalizowanym po bokach sterownika. W tym konkretnym przypadku może być dołożonych do niego maksymalnie osiem modułów sygnałowych na szynę TH35. Możliwości rozbudowy zależą od wersji posiadanego CPU, które ogranicza sprzętowo liczbę obsługiwanych modułów.

Sterowniki jak i urządzenia wraz z modułami rozszerzeń posiadają z prawej strony opis najważniejszych parametrów potrzebnych dla programisty lub pracownika utrzymania. Dostępnych jest kilka rodzajów modułów rozszerzających zwiększających funkcjonalność oraz ilość wejść/wyjść.

Są to wejścia/wyjścia analogowe napięciowe lub prądowe oraz wejścia typu RTD i TC. Dostępna jest również płytką z baterią do długookresowego podtrzymywania zegara czasu rzeczywistego w przypadku braku napięcia na sterowniku.

Moduły binarne - wykorzystywane są w celu dodania większej ilości wejść/wyjść, które znajdują się w sterowniku. Rodzaj i ilość jest zróżnicowana. Dostępne są wersje od 8 wejść lub 8 wyjść, aż do wersji która posiada 16 wejść/wyjść w jednym module, który jest widoczny na rysunku 2. Typy wyjść również są zróżnicowane. Mogą być to wyjścia przekaźnikowe lub stałonapięciowe z zakresu 24VDC lub 230VAC.



6ES7 223-1PL32-0XB0

Rys.2. Moduł rozszerzeń

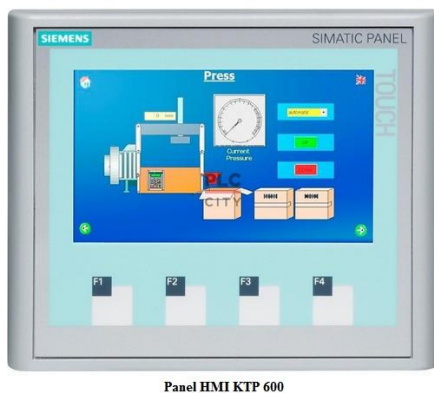
Moduły analogowe - przetwarzają one sygnały analogowe na sygnały cyfrowe zrozumiałe przez sterownik. Tak jak w przypadku płytek sygnałowych wyposażone są od jednego do kilku wejść/wyjść o różnych typach m.in. napięciowe, prądowe czy rezystancyjne.

Moduły bezpieczeństwa - zwane również modułami failsafe. Posiadają one cyfrowe wejścia/wyjścia. Wymiarami i funkcjonalnością odpowiadają standardowym modułom binarnym jednak spełniają one bardziej rygorystyczne normy wymagane w zakresie układów bezpieczeństwa zgodnie z normą EN 61508. Można je łatwo rozpoznać po charakterystycznych żółtych wstawkach na przednim panelu.

Moduły komunikacyjne - jak sama nazwa wskazuje służą do komunikowania się sterownika z innymi sterownikami lub urządzeniami połączonymi w sieci. Sterownik wyposażony jest w wbudowany interfejs PROFINET (Ethernet). Złącze może być wykorzystane do zdalnego programowania sterownika, komunika-

cji z panelami HMI [5] lub innymi sterownikami z rozproszonymi wejściami/wyjściami w odległym końcu hali. Moduł komunikacyjny posiada cztery interfejsy RJ45. Moduły te często są zastępowane dużo tańszymi switchami producentów branży informatycznej na ich mniejszą cenę. Często komunikacja między urządzeniami wykorzystuje gotowe sieci przemysłowe co czyni inwestycję tańszą ze względu na wykorzystanie istniejącej infrastruktury.

Panele HMI (ang. human machine interface) są coraz powszechniejsze w użyciu przy budowie maszyn przemysłowych. Umożliwiają one wizualizację, zmianę parametrów lub rodzaj wykonywanego programu pracy maszyny przez operatora.

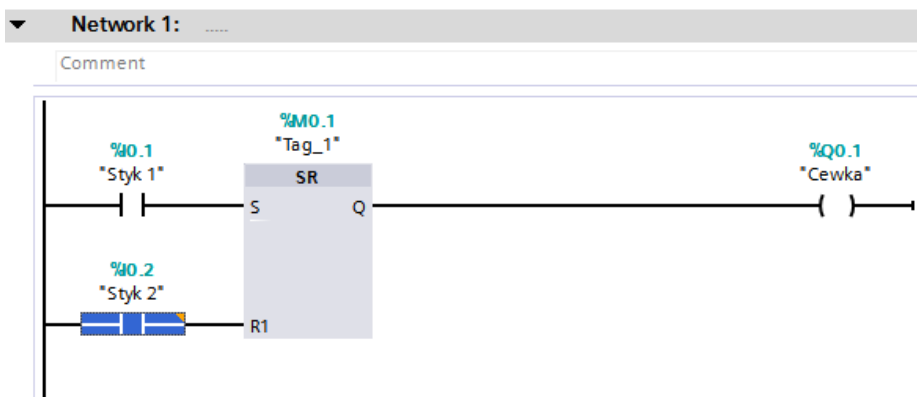


Rys.3. Panel HMI

RODZAJE JĘZYKÓW PROGRAMOWANIA

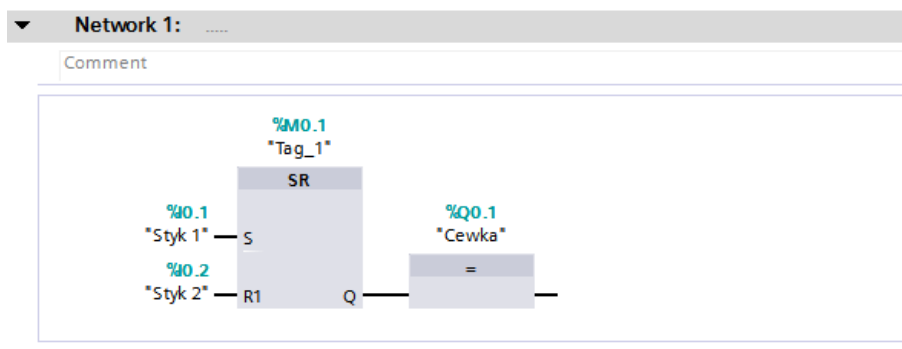
Sterowniki same w sobie po podłączeniu do zasilania i osprzętu w postaci czujników i urządzeń wyjściowych nie są w stanie nic zrobić oprócz poboru mocy. W celu wykonywania określonych funkcji muszą zostać odpowiednio zaprogramowane. W środowisku TIA Portal V13 sterowniki rodziny S7-1200 mogą być zaprogramowane w jednym z trzech języków programowania. Dwa graficzne LAD, FBD [6] oraz język wysokiego poziomu SCL. Poniżej opisane zostały dwa języki LAD (Rys. 4) oraz FBD (Rys. 5).

LAD (Ladder Diagram) - jest to język należący do grupy języków graficznych. Jego dużą zaletą jest intuicyjna obsługa dla osób zaznajomionych z automatyką opartą na stykach, przekaźnikach i stycznikach. Ze względu na jego szybkie przyswajanie jest najczęściej wybierany jako pierwszy język przez programistów z doświadczeniem w budowaniu elektrycznych układów sterowania. Program buduje się po kolei jak szczeble drabiny stąd jego nazwa drabinkowy. Z lewej strony znajduje się szyna zasilająca do której dokładamy styki tworząc układ logiczny zakończony elementem wykonawczym.



Rys. 4. Przykład programu w języku LAD

FBD (Function Block Diagram) - język graficzny należący również jak LAD do grupy języków graficznych. Zasada działania polega na „przepływie” sygnałów z jednego bloczka do następnego po spełnieniu funkcji logicznych.



Rys. 5. Program napisany w języku FBD

BUDOWA STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Założeniem przy budowie stanowiska było zamocowanie sterownika na solidnej podstawie wraz z dołączonymi elementami symulującymi urządzenia wejściowe i wyjściowe. Dodatkowo woltomierze symulujące urządzenia analogowe wraz z zadajnikiem miały być dobrze widoczne i łatwo sterowalne. Całe stanowisko jest zasilane z sieci elektrycznej o napięciu przemiennym 230 V poprzez zasilacz stabilizowany o napięciu stałym 24 V.

Głównym urządzeniem wykorzystanym w budowie stanowiska jest sterownik PLC wraz z zasilaczem firmy Siemens S7-1200 model CPU 1214C wersja DC/DC/DC.

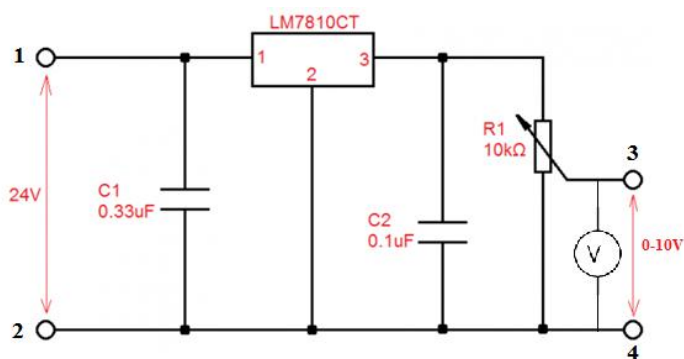
Całość jest zamontowana na metalowej obudowie wykonanej z arkusza blachy nierdzewnej zespawanej metodą TIG [7] w osłonie argonu dzięki czemu

uzyskany spaw jest wysokiej jakości a całość tworzy estetyczne i wytrzymałe wykonanie na potrzeby stanowiskowe. Elementy składowe kompletnego stanowiska oprócz metalowej obudowy to:

- Przełączniki do zadawania sygnałów na wejścia cyfrowe
- Diody LED koloru czerwonego z metalowymi oprawkami podłączone do wyjść cyfrowych. Dla zapewnienia odpowiedniego prądu zasilania zostały dołączone szeregowo oporniki o wartości $1,2\text{ k}\Omega$
- Gniazdo zasilające męskie typu C14 z wyłącznikiem oraz bezpiecznikiem zamontowane z tyłu obudowy
- Woltomierz do odczytu napięć z wejść oraz wyjść napięciowych rys. 6
- Zadajnik napięciowy do symulowania wejścia analogowego sterowanego napięciowo który został wykonany w oparciu o schemat z rysunku 7.



Rys. 6. Woltomierz do odczytu stanu wejść i wyjść napięciowych



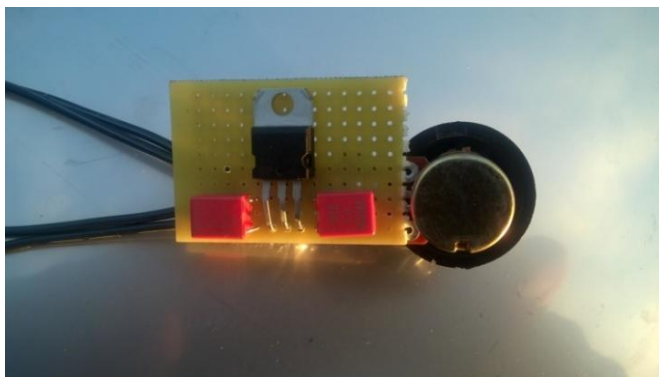
Rys. 7. Schemat zadajnika napięciowego

Z racji tego, że profesjonalne przemysłowe zadajniki napięcia są rozwiązaniami stosunkowo drogimi, do stanowiska dydaktycznego można wykorzystać proste rozwiązanie oparte na układzie scalonym LM7810CT połączone z poten-

cjometrem liniowym o wartości 10 k Ω . Całość składa się z czterech elementów umieszczonych na płycie uniwersalnej.

Do punktów wejściowych 1 i 2 oznaczonych na rysunku 7 podłączamy napięcie 24 V z zasilacza. Zadajnik reguluje napięcie w zakresie 0–10 V i na wyjściu oznaczonym punktami 3 i 4 uzyskujemy napięcie wyjściowe potrzebne do symulacji wejścia analogowego sterownika. Równocześnie prowadzony jest pomiar napięcia [8] wejściowego i wyświetlany na cyfrowym woltomierzu.

Całość wykonana jest na uniwersalnej płycie drukowanej (Rys. 8), montaż elementów jest bardzo szybki.



Rys. 8. Zadajnik napięcia

Gotowe stanowisko w pełni funkcjonalne widoczne jest na rysunku 9.



Rys. 9. Panel czolowy stanowiska laboratoryjnego

PODSUMOWANIE

Celem było zaprojektowanie i wykonanie stanowiska laboratoryjnego do generowania sygnałów i obsługi urządzeń zewnętrznych za pomocą sterownika PLC firmy Siemens model S7-1200. Artykuł przedstawia podstawy teoretyczne potrzebne przy budowie stanowiska, sposobu doboru urządzeń, wyboru języka programowania oraz dobór materiałów i urządzeń wykorzystanych do jego budowy. Za pomocą sterownika PLC możliwe jest sterowanie maszynami elektrycznymi oraz liniami produkcyjnymi. Dzięki łatwej rozbudowie i różnorodności modułów i urządzeń peryferyjnych możliwa jest dowolna konfiguracja sterownika PLC. Oprogramowanie oraz różne języki programowania umożliwiają szybką i łatwą zmianę funkcjonalności procesu. Zbudowane stanowisko dzięki wykorzystaniu sygnałów analogowych oraz cyfrowych umożliwia naukę obsługi i programowania sterowników PLC. Możliwy jest podgląd na bieżąco parametrów procesów technologicznych. Woltomierzem można sprawdzić zakres wejść/wyjść napięciowych w sterowniku. Wyjściami cyfrowymi można sterować urządzeniami o innych parametrach zasilania za pomocą styczników. Sterownik PLC jest urządzeniem uniwersalnym, który może być wykorzystany w każdej gałęzi przemysłu.

LITERATURA

- [1] Romanowski J., Zastosowanie technologii CUDA w sztucznej inteligencji, Wydawnictwo Naukowe GROM, Biała-Podlaska, 2010
- [2] Szkoda S., Implementacja modelu FHP w technologii NVIDIA CUDA. Praca magisterska, Wrocław 2010
- [3] NVIDIA: NVIDIA CUDA. Programming Guide, ver. 4.1, 2011
- [4] Triolet D., Nvidia CUDA: Preview, 2007, www.behardware.com, zasoby z dnia 20.03.2017
- [5] Jakuszewski, Ryszard. Programowanie systemów SCADA: Proficy HMI/SCADA-iFIX. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, 2006
- [6] Pietrusiewicz, Krzysztof, and Michael Scopchanov. "Projektowanie mechatroniczne. Graficzna specyfikacja systemów." Napędy i Sterowanie 18 (2016)
- [7] Węglowski, M. St, et al. "Kontrola procesu spawania TIG w oparciu o promieniowanie łuku spawalniczego." Welding Technology Review 79, 12, 2007, 15–19
- [8] Chochowski, Andrzej. Podstawy elektrotechniki i elektroniki dla elektryków: podręcznik. WSiP, 2003.

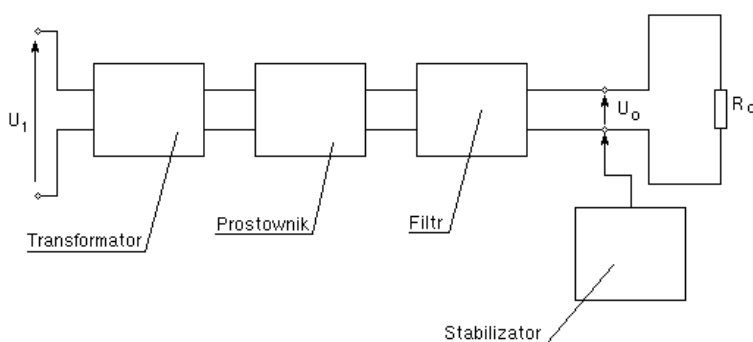
PROJEKT STEROWNIKA PROSTOWNIKA TRÓJFAZOWEGO ZE SPRZĘŻENIEM NAPIĘCIOWYM

WSTĘP

Tematem artykułu jest sterownik, który w oparciu o wielkości wejściowe (moment przejścia przez zero napięcia sieci i nastawa napięcia wyjściowego) będzie generował odpowiednią sekwencję sterowania bramkami tyrystorów. Głównym założeniem jest realizacja synchronizacji przebiegu sterującego tyrystor z przebiegiem sygnału zasilającego. Drugim założeniem jest przedstawienie i sprawdzenie wpływu kąta wysterowania tyrystora na przebieg napięcia wyjściowego prostownika. Ważnym aspektem było również zaprojektowanie oraz zbudowanie urządzenia o małych wymiarach, pracującego z dużą sprawnością.

POSTAWY TEORETYCZNE

W krajach mocno rozwiniętych przemysłowo nawet 30% energii wyprodukowanej jest przez elektrownie wodne czy też ciepłne. Duża część tej energii zostaje wyprostowana. Proces prostowania polega na przetworzeniu prądu przemiennego na prąd, który potocznie nazywany jest stałym. Odpowiedzialne za tą zmianę są tak zwane urządzenia prostownicze, których schemat aplikacyjny przedstawia rysunek 1. Prąd wyprostowany jest niezbędny do zasilania między innymi: urządzeń elektronicznych, silników, oświetlenia oraz trakcji elektrycznych [1, 2, 6, 7].



Rys. 1. Układ zasilania urządzenia prostowniczego

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, kamil.matras@pollub.edu.pl

Przykładem urządzenia, które odpowiedzialne jest za zmianę napięcia prądu przemiennego na stałe jest prostownik. Do jego zadań należy również połączenie dwóch obwodów różniących się zwrotem i kierunkiem przepływu ładunków. Natężenie prądu płynącego jest zależne od przyłożonego napięcia [2].

Prostowniki zbudowane są z elementów półprzewodnikowych. Powinny one spełniać szereg norm, którymi są:

- dobra przewodność, a co za tym idzie, jak najmniejszy spadek napięcia przy przepływie prądu wyprostowanego,
- element półprzewodnikowy powinien wytrzymać szczytowe napięcie wsteczne, które występuje między anodą i katodą, w momencie gdy element nie przewodzi prądu (przerwa w obwodzie),
- wymiary i waga muszą być jak najmniejsze,
- odporność na przepięcia oraz temperaturę otoczenia powinna być jak największa [1].

WŁAŚCIWOŚCI ORAZ KLASYFIKACJA PROSTOWNIKÓW

Prostowniki charakteryzują się określonymi właściwościami. Urządzeniom tym stawiane są wymagania, dzięki którym pracują one z dużą wydajnością, bez występowania poważniejszych usterek [8].

Wymagania jakie stawia się prostownikom to:

- wytwarzanie napięcia o stałej, zadanej wartości U_0 . W prostownikach dużej mocy wymaga się, aby napięcie było regulowane stopniowo lub skokowo,
- możliwość poboru prądu stałego, o stałej wartości I_0 ,
- jak najmniejszy opór wewnętrzny, dla prądu stałego dzięki temu zostaną ograniczone wahania prądu obciążenia I_0 przy zmianie napięcia wyjściowego U_0 ,
- wytrzymałość na zwarcia oraz przeciążenia, które mogą zniszczyć urządzenie lub inne elementy układu,
- duża wydajności przy zmianie i wahanii napięcia pobieranego z sieci i jego częstotliwości, przy częstych zmianach temperatury otoczenia,
- niezależności wyników pracy prostownika od rozrzutów produkcji, starzenia się elementów oraz tolerancji,
- najmniejszy koszt eksploatacji oraz instalacji.

Prostowniki można podzielić w zależności od tego jak są zbudowane, zasilane itp. Układy te mają ogromne znaczenie w przemyśle czy też automatyce, przez co jest wiele rodzajów prostowników. Na urządzenia te mogą wpływać elementy bierne, które stosuje się gdy trzeba zasilic urządzenie elektroniczne. Takim elementem może być dławik L , który jest połączony szeregowo między zaciskiem wyjściowym, a obciążeniem. Często również, stosuje się włączenie kondensatora zbiorczego C_{zb} równolegle do zacisków wyjściowych.

Inaczej zainstalowane elementy L i C mające wpływ na tłumienie, nie wnoszą znaczącej zmiany na pracę samego prostownika, rodzaje obciążenia, którymi

są akumulatory, szyny trakcyjne, urządzenia elektrochemiczne czy też elektroniczne. Obciążenia mogą być zmienne, czyli wartość prądu lub napięcia uzyskiwana na wyjściu zależy od formy odbiornika, sposoby zasilania prostownika, w naszym kraju urządzenie to zasilane jest z sieci o częstotliwości 50 Hz, jednofazowej czy też trójfazowej. Mogą być także zasilane za pośrednictwem transformatora lub bezpośrednio z sieci [1,5].

PROSTOWNIK TRÓJFAZOWY STEROWANY

Używanie układów prostowniczych trójfazowych z punktu widzenia sieci jest znacznie korzystniejsze niż stosowanie jednofazowych. Obciążenie jest rozkładane równomiernie na wszystkie trzy fazy, co daje wiele możliwości:

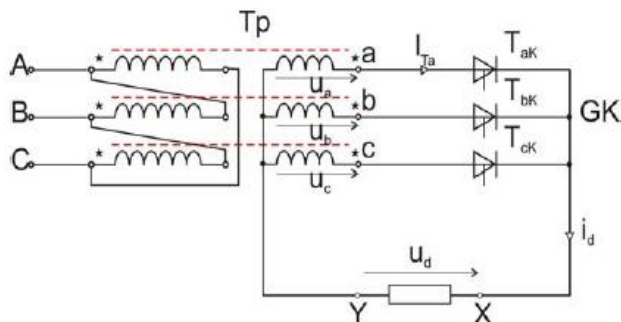
- napięcie które jest wyprostowane, czyli napięcie wyjściowe U_0 jest wyższe dla stałej wartości napięcia zasilającego,
- napięcie wyjściowe, jest łatwiejsze do odfiltrowania, ponieważ wartość tętnień oraz częstotliwość są mniejsze,
- prostownik trójfazowy posiada wyższą skuteczność zmiany energii przemiennej na stałą [1].

Prostowniki sterowane fazowo są urządzeniami uniwersalnymi, które umożliwiają sterowanie napięciem wyprostowanym, a dzięki temu powstaje możliwość sterowania prądem oraz mocą czynną. Urządzeniami takimi są prostowniki tyrystorowe [2].

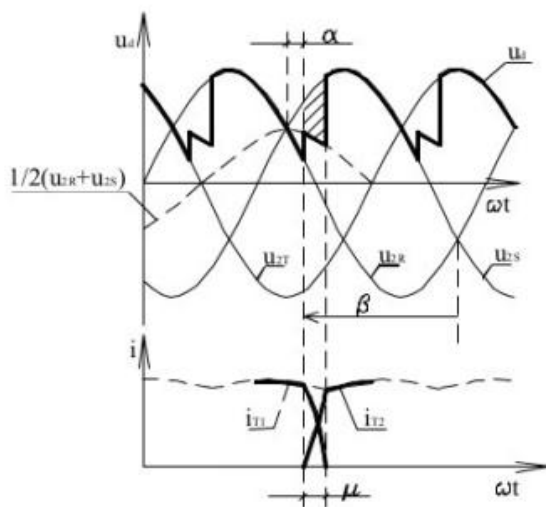
Prostowniki tyrystorowe znajdują zastosowanie w układach, gdzie występuje konieczność zasilenia odbiorników dużej mocy. Zaletą takiego prostownika są bardzo małe straty na elementach rezystancyjnych podczas zmniejszenia napięcia wyjściowego. W momencie, gdy przebieg napięcia zasilającego znajduje się w ujemnej połówce, tyrystor nie przewodzi, a co za tym idzie napięcie na wyjściu równe jest zero. Natomiast gdy przebieg znajduje się w dodatniej połówce, półprzewodnik będzie przewodził w momencie gdy bramka otrzyma sygnał sterujący pochodzący z generatora [4].

W układach, w których zapotrzebowanie na moc nie jest zbyt wysokie, stosuje się prostowniki gwiazdowe, które zapewniają prostowanie trójpulsowe. Przekształtnik ten jest urządzeniem jednokierunkowym. Nazywany jest gwiazdowym, ponieważ tyrystory połączone są równolegle, dzięki czemu tworzą układ gwiazdy, który przedstawiony jest na rysunku 2 [18]. Tyrystory są zasilane bezpośrednio z poszczególnych faz układu trójfazowego. Katody połączone są ze sobą tworząc tak zwane grupy katodowe (GK). W momencie gdy prostownik przewodzi impulsowo praca tyrystorów jest bliźniaczo podobna do pracy przekształtnika jednofazowego jednopulsowego. Natomiast inaczej wygląda praca prostownika gdy przewodzi on w sposób ciągły. Załączenie zaworów następuje w zależności od kąta wyłączenia poprzedniego zaworu, a każdy z nich jest w stanie przewodzić tylko przez 1/3 okresu. Wyjście układu tworzą dwa bieguny prostownika. Jednym z biegunów jest punkt neutralny układu trójfazowego zasilającego prostownik, natomiast drugi podłączany jest na przemian do każdej

fazy. Wynikiem takiego rozwiązania jest przebieg otrzymany na obciążeniu prostownika, który tworzą przebiegi każdej fazy układu trójfazowego. Przebieg napięcia i prądu w prostowniku gwiazdowym przedstawia rysunek 3. Ważnym parametrem takiego prostownika jest jego moc. Jeżeli moc urządzenia jest większa niż kilkadziesiąt kilowatów, konieczne jest zastosowanie transformatora przekształtnikowego. Wynika to z zachowania pulsów prądu obciążenia, które przepływają przez każdą z faz, a co za tym idzie następuje przepływ prądu stałego przez przewód neutralny do najbliższego transformatora [3].



Rys. 2. Prostownik gwiazdowy (trójfazowy)

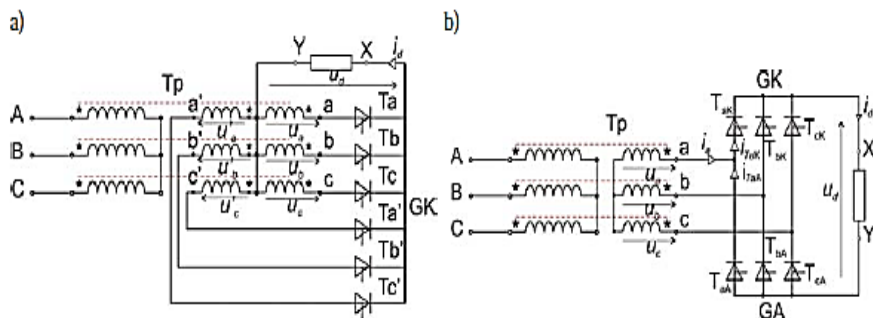


Rys. 3 Przebieg napięcia i prądu w prostowniku gwiazdowym

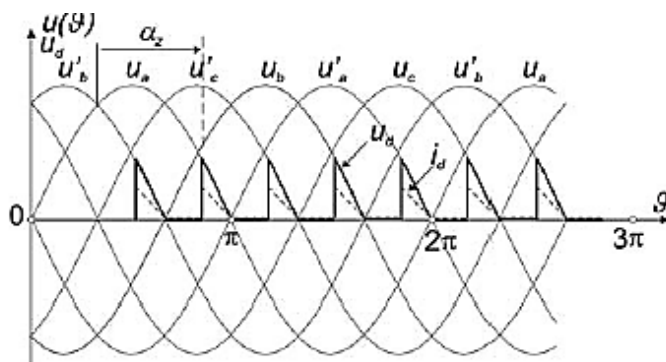
Drugim rodzajem trójfazowego prostownika jest prostownik sześciopulsowy. Przekształtnik ten występuje w dwóch kombinacjach: układu sześciofazowego jednokierunkowego oraz układu mostkowego - rysunek 4.

Prostownik sześciofazowy jednokierunkowy jest to układ sześciu tyrystorów połączonych równolegle. Każdy z półprzewodników zasilany jest napięciem symetrycznym z układu sześciofazowego. Przekształtnik mostkowy jest to urządzenie zbudowane z prostowników dwufazowych połączonych równolegle.

W praktyce stosowanie prostownika sześciofazowego jednokierunkowego jest niekorzystne, ponieważ wartość wykorzystania transformatora przekształtnikowego nie sprzyja działaniu urządzenia. Występują odbiorniki, które pracują poprawnie z danym prostownikiem.



Rys. 4. a) Sterowany prostownik sześciopulsowy jednokierunkowy b) Sterowany prostownik sześciopulsowy w układzie mostkowym [3]



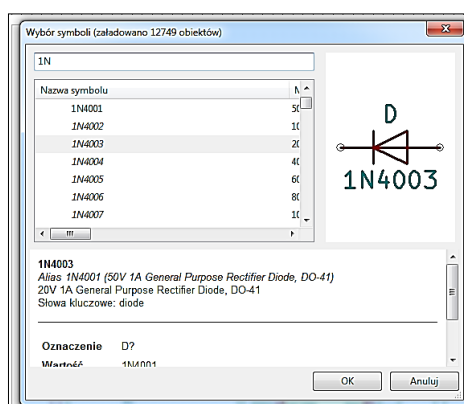
Rys. 5. Przebiegi napięcia oraz prądu na wyjściu prostownika dla obciążenia rezystancyjnego [3]

Przekształtnik mostkowy może być zasilany bezpośrednio z sieci, konieczne jest wtedy zastosowanie dławików, połączonych szeregowo w każdej fazie ze źródłem. Częściej spotyka się zasilanie za pośrednictwem transformatora przekształtnikowego w grupach: Dy, Dd, Yd, Yy. Wyjście danego prostownika składa się z dwóch biegunów. Jeden z nich połączony jest za pośrednictwem jednego zaworu z grupy katodowej trzech górnych tyrystorów z jedną z trzech faz zasilających. Drugi biegun połączony jest z inną fazą, za pośrednictwem jednego za-

woru z grupy anodowej trzech dolnych tyrystorów. Dzięki temu przebieg otrzymany na wyjściu prostownika jest to połączenie fragmentów przebiegów napięcia przewodowego U każdej z faz i przedstawiony jest na rysunku 5 [3].

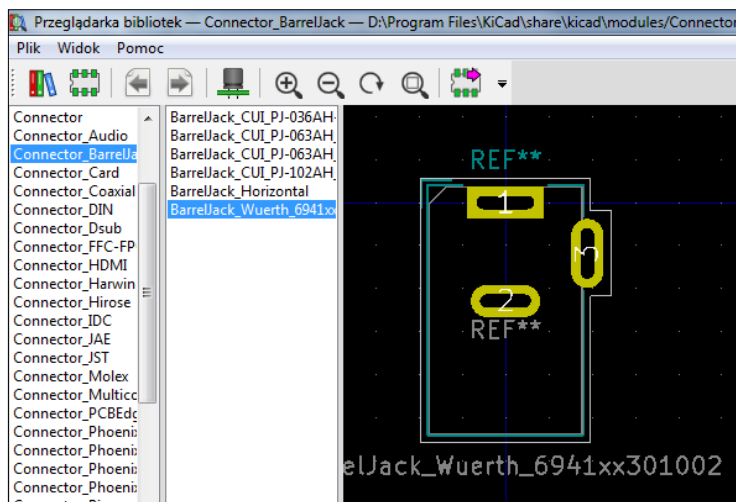
SCHEMAT ELEKTRONICZNY I PROJEKT PŁYTKI PCB

Do projektu schematu wykorzystano program KiCad 5.0.2. Dzięki niemu zaprojektowano odpowiedni układ elementów, płytkę PCB oraz przygotowano schemat do wydrukowania. Program pozwala na dodawanie poszczególnych urządzeń do schematu elektrycznego. Większość symboli posiada wzory obudów, które należało zdefiniować podczas układania ich na schemacie. Okno programowe, które umożliwiało wybór symboli przedstawia rysunek 6. Wszystkie elementy trzeba było również odpowiednio opisać oraz nadać im należyte parametry. Jest to bardzo ważne, ponieważ podczas przerabiania schematu na płytkę PCB, program nie widzi parametrów, co uniemożliwia dalszą pracę. Program zawiera gotowe biblioteki, dzięki temu nie trzeba było szukać poszczególnych schematów w innych źródłach.



Rys.6. Wybór elementów w programie

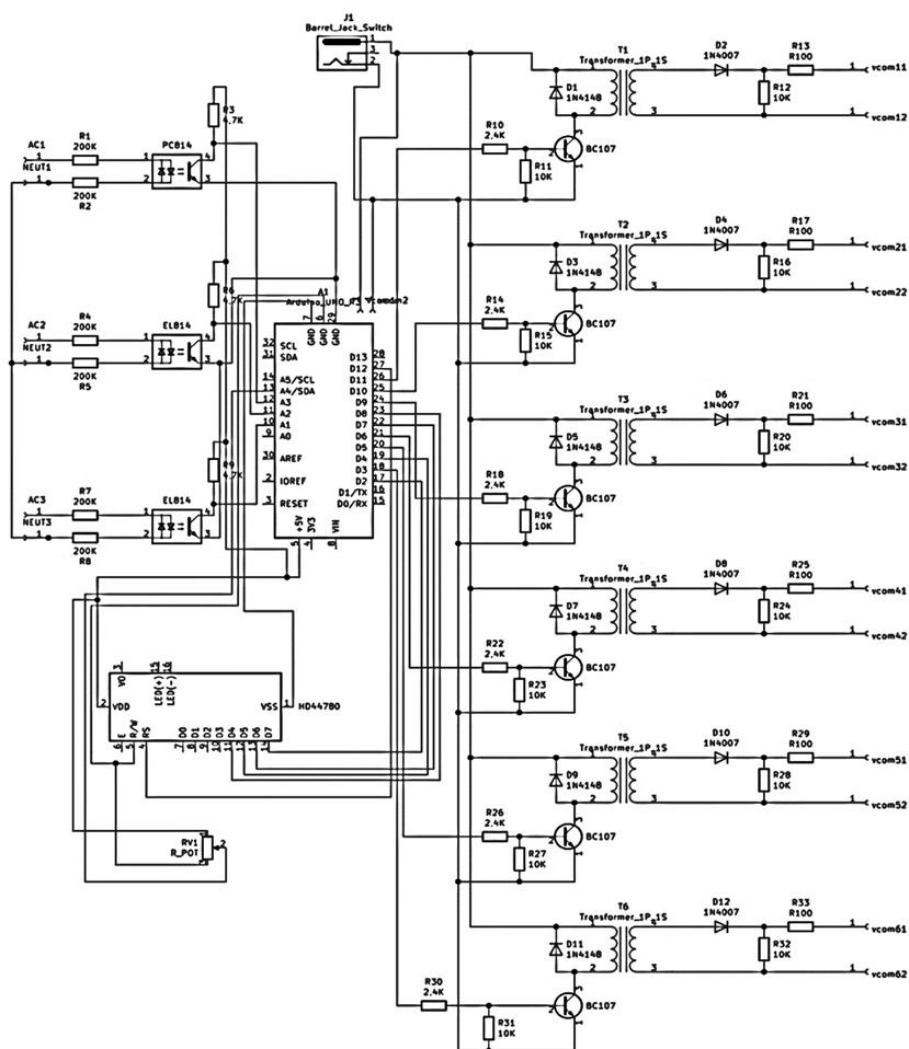
Wzór obudowy (ang. footprint) jest to graficzne przedstawienie rozstawu wyprowadzeń danego elementu oraz zarys jego obudowy. Każdy symbol po zdefiniowaniu odpowiedniej obudowy, był przetwarzany przez program tak aby na płycie PCB otwory odpowiadały rzeczywistemu rozstawieniu wyprowadzeń. Nie wszystkie symbole posiadają biblioteki obudów zdefiniowane w programie, co wymuszało korzystanie z innych źródeł takich jak strona internetowa producenta lub samego programu. Istnieje również możliwość narysowania obudowy elementu elektronicznego ręcznie, ta opcja również została wykorzystana. Dodawanie obudowy w środowisku programu KiCad przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7 Dodawanie wzoru obudowy w środowisku programu KiCad

Ostateczny schemat przedstawiony został na rysunku 8. W rzeczywistości struktura układu zbudowana na płytce wygląda inaczej. Spowodowane jest to dążeniem do jak najmniejszych wymiarów płytki PCB, a co za tym idzie innym rozmieszczeniem elementów, w celu zaoszczędzenia jak największej ilości laminatu. W schemacie został wykorzystany wyświetlacz LCD, który umożliwi obserwację zmian kąta wysterowania, podczas regulacji potencjometrem.

Gotowy układ elementów musiał zostać przetworzony na schemat płytki PCB. W tym momencie należało wygenerować listę sieci. Obrazowało to połączenie komponentów, odpowiadającą połączeniu symboli na schemacie głównym. Z tak wygenerowaną listą, można było przejść do tworzenia schematu płytki PCB. Rysunek 9 przedstawia wygenerowaną listę sieci połączeń wraz z obudowami wszystkich elementów.

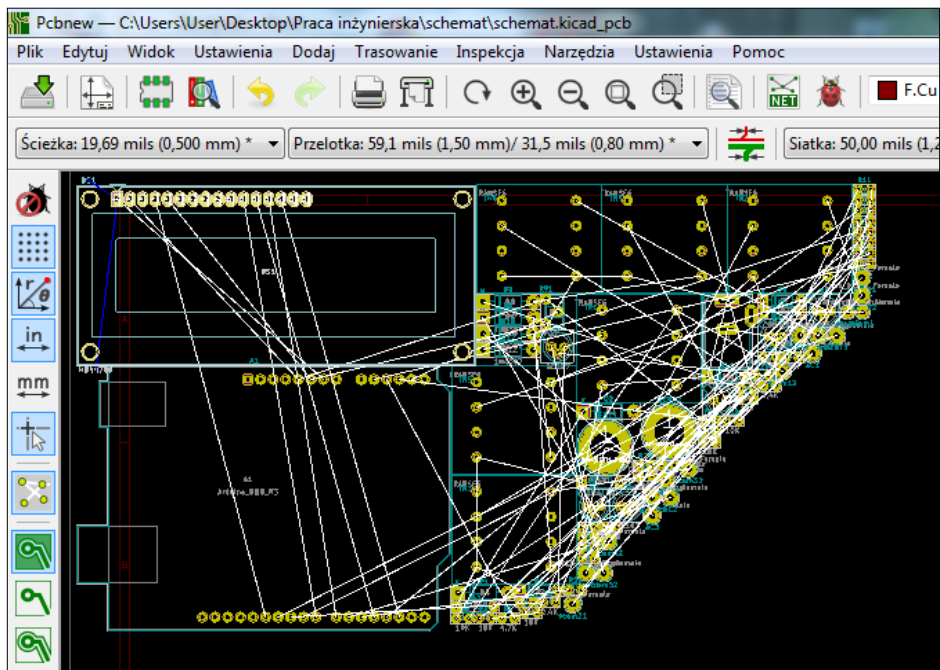


Rys. 8. Ostateczna forma schematu sterownika

Następnym krokiem było układanie elementów na schemacie płytki PCB, tak aby była ona możliwie jak najmniejsza. Innym kryterium była również ilość zastosowanych przelotek. Podczas układania elementów na schemacie dążyło się do zastosowania jak najmniejszej ilości mostków. Dzięki czemu można było zaoszczędzić ilość wykorzystanego drutu oraz zmniejszyć ilość dziur.

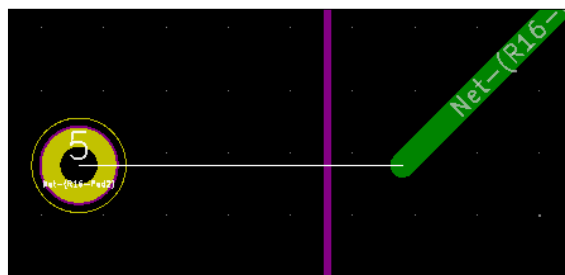
Obudowy transformatorów zostały narysowane ręcznie, ponieważ ich biblioteki nie były dostępne. W starszych wersjach programu możliwe było automa-

tyczne rozmieszczenia elementów, co nie było praktyczne, ponieważ symbole były rozmieszczane chaotycznie.

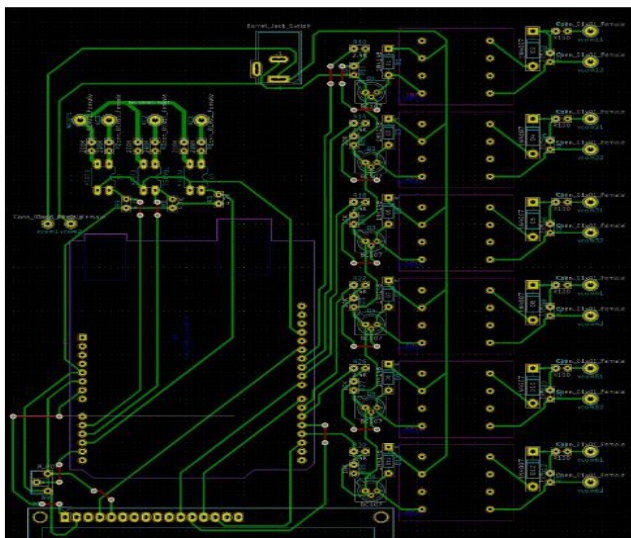


Rys. 9. Wygenerowana lista sieci wraz z obudowami wszystkich elementów

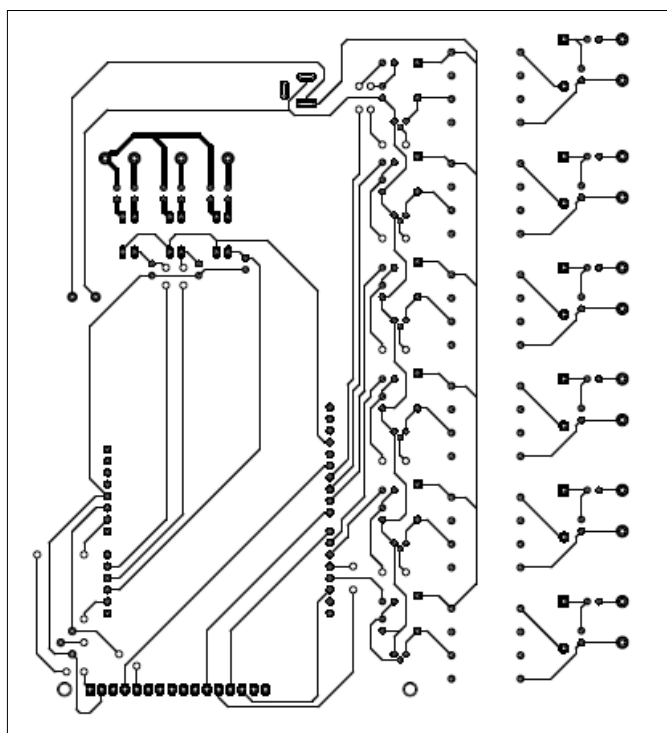
Po odpowiednim rozmieszczeniu elementów, należało przejść do zmiany sieci łączących elementy na ścieżki, co zostało zobrazowane na rysunku 10. Podczas rysowania ścieżek zmieniano ich grubość, dzięki czemu ścieżki zasilające mają grubości 1 mm, natomiast ścieżki robocze są grubości 0,5 mm. Różnica ta jest spowodowana innymi wartościami napięcia oraz przepływających prądów. Ścieżki zasilające, podłączone są do napięcia 230 V, a ścieżki robocze pracują na napięciu 12 V lub 5 V.



Rys. 10. Zmiana sieci na ścieżki



Rys. 11. Projekt płytki PCB układu sterownika

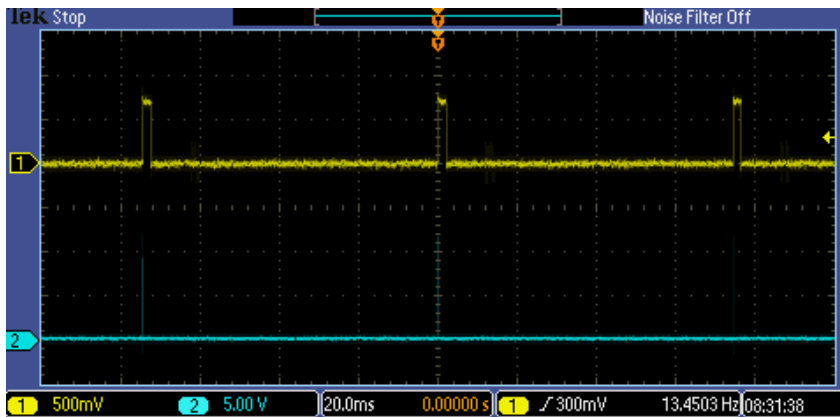


Rys. 12. Wzór płytki PCB przygotowany do wydruku

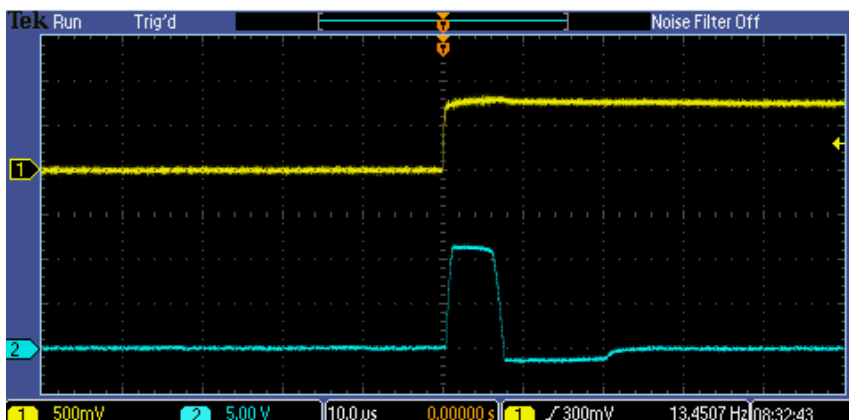
Rysunek 12 przedstawia ostateczny wzór ścieżek projektowanego układu sterownika prostownika. Tak opracowany projekt jest gotowy do przetworzenia i drukowania. Wiele ścieżek, przeprowadzonych jest pod elementami, tak aby zaoszczędzić miejsce między nimi. Ma to na celu również zniwelowanie prawdopodobieństwa powstawania zwarć między dwoma ścieżkami.

WYNIKI - KONTROLA POPRAWNOŚCI DZIAŁANIA STEROWNIKA

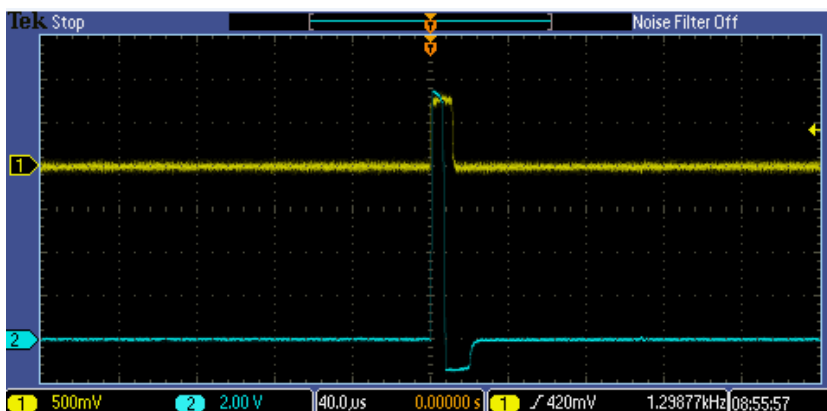
Za pomocą oscyloskopu został zbadany kształt impulsów pojawiających się na wyjściu sterownika. Wyznaczono przebiegi impulsów sterujących (kolor żółty) oraz impulsów na wyjściu transformatora impulsowego (kolor niebieski). Rysunek 13 przedstawia wygenerowaną sekwencję impulsów sterujących pojedynczym kluczem tyrystorowym. Na rysunku 14 przedstawiono odpowiedź transformatora impulsowego na skok jednostkowy sygnału sterującego.



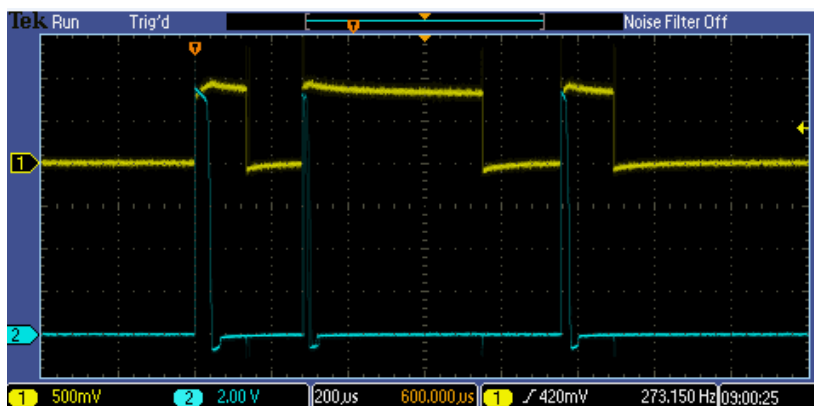
Rys. 13. Sekwencja sterowania pojedynczego tyrystora



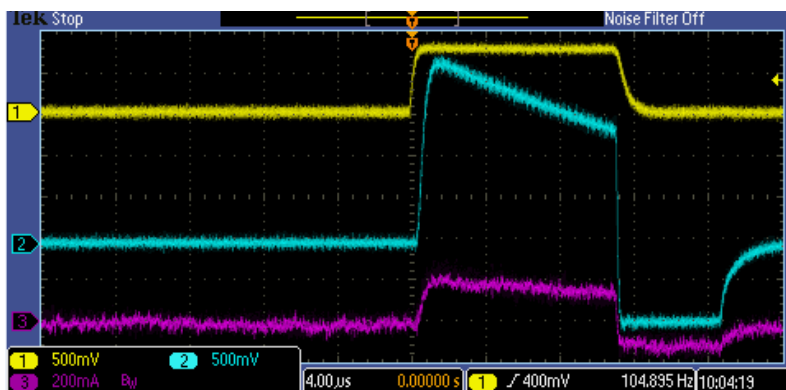
Rys. 14. Odpowiedź transformatora impulsowego na skok jednostkowy



Rys. 15. Wyznaczenie minimalnego czasu potrzebnego do wygenerowania impulsu sterującego tyrystorem



Rys. 16. Przykładowa sekwencja sterowania tyrystorem



Rys. 17. Pomiar prądu bramki tyrystora

Na rysunkach od 15 do 17 przedstawione zostały kolejne etapy uruchamiania i testowania zaprojektowanego, a następnie wykonanego sterownika prostownika trójfazowego. Po zakończeniu testów możliwe było wykonanie pomiarów prostownika z wykonanym sterownikiem.

PODSUMOWANIE

W ramach artykułu został zaprojektowany wykonany sterownik prostownika trójfazowego. Zaproponowane rozwiązanie zbudowane zostało z wykorzystaniem modułu sterującego Arduino UNO R3. Podstawową funkcjonalność zapewnia potencjometr (do zadawania kąta sterowania) i wyświetlacz (do reprezentacji kąta zadanego). Przedstawione w pracy pomiary zrealizowane zostały dla pętli sprzężenia otwartej. Powodem tej decyzji jest zbyt mała rozdzielczość (8 bitów) wbudowanego generatora PWM. Możliwe jest zastąpienie modułu Arduino kompatybilnym modułem z procesorem STM32, co powinno wydatnie poprawić jakość sterowania tyrystorami w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego

LITERATURA

- [1] Lewnińska A., Lewniński K., Prostowniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 1968
- [2] Figurzyński Z., Frydryszak A., Prostowniki w energoelektryce. WNT Warszawa, 1964
- [3] Szkółka S., Borecki J., Stosur M., Energoelektronika. Podstawy i wybrane zastosowania. Oficjalne wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 2008
- [4] Kowalczyk J., Głocki W., Podstawy Elektroniki. Wydawnictwo Dyfin, 2015
- [5] Januszewski S., Pytlak A., Rosonowska-Nowaczyk M., Świątek H., Energoelektronika. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 2013
- [6] Chwaleba A., Moeschke B., Pilawski M., Pracownia Elektroniczna elementy układów elektronicznych. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 2009
- [7] Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G., Elektronika. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, 2008.

PROJEKT WIRTUALNEGO MIERNIKA REZYSTANCJI W ŚRODOWISKU PROGRAMISTYCZNYM LABVIEW

WSTĘP

Projekt porusza problem przetwarzania wielkości mierzonych i prezentacji wyników z wykorzystaniem karty pomiarowej skomunikowanej z komputerem PC, który wyposażony jest w specjalistyczne środowisko programistyczne. Odbywa się to na przykładzie pomiarów rezystancji elektrycznej. Metoda używana w laboratoriach za pomocą mierników analogowych może zostać z powodzeniem zaimplementowana do środowiska programistycznego, które zajmuje się przetworzeniem i prezentacją dostarczonych przez kartę pomiarową danych. Nie tylko pokazuje to zalety wykorzystania elektroniki i programowania w dziedzinie metrologii, ale także przejrzystość ilustruje tradycyjne metody pomiaru w ciekawy sposób na ekranie komputera przy jednoczesnym zwiększeniu możliwości w obróbce i prezentacji wyników.

JEDNOSTKA REZYSTANCJI

Rezystancja jest jedną z podstawowych wielkości elektrycznych o jednostce om (Ω). Do pomiaru jest potrzebne zewnętrzne źródło energii, więc można ją sklasyfikować jako wielkość pasywną [1].

W Polsce znajduje się wzorzec tej wielkości w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie. Jest to układ pomiarowy wykorzystujący kwantowy efekt Halla, który przedstawia rezystancję o wartości 6453,20175 Ω oraz 12906,4035 Ω [6]. Oparcie wzorca o zjawiska molekularne powoduje uniezależnienie wielkości od czasu i związanie jej z ogólnie przyjętymi stałymi matematycznymi zgodnie ze wzorem (1):

$$R_w = \frac{h}{2e^2n} = \frac{25812,8}{n} \quad (1)$$

dla którego: h – stała Plancka; e – ładunek elektronowy; n – 2 lub 4. Błąd wzorca bazującego na kwantowym efekcie Halla wynosi od 1 do $3 \cdot 10^{-8}$ Ω [3].

Różne wielkości można mierzyć różnymi metodami. Jeśli pomiar to porównanie wartości mierzonej z odpowiednio dokładnym wzorcem, to metodą pomiarową będzie sposób w jaki się to dokonuje. Można je sklasyfikować na kilka sposobów [4]:

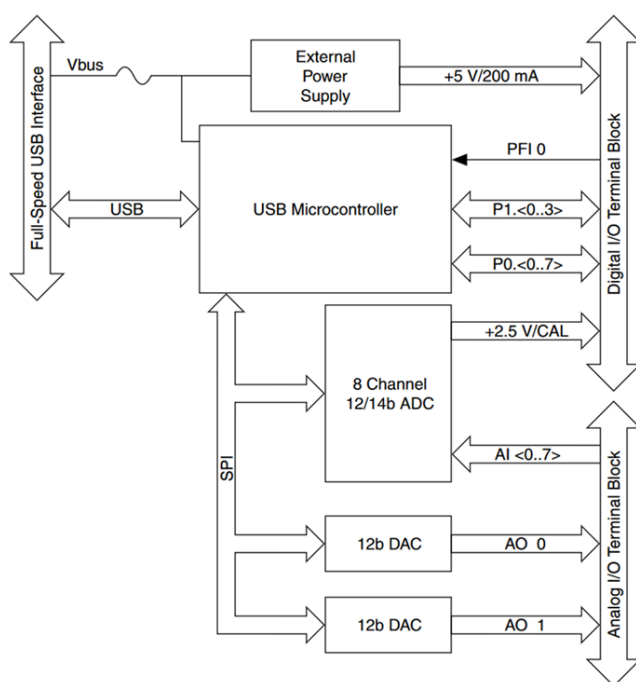
- metody techniczne z poprawnie mierzonym prądem lub napięciem,

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,
pawel.s.kolodziej@gmail.com

- metody mostkowe wykorzystywane przez mostek Thomsona i mostek Wheatstone'a,
- metody cyfrowe.

PROJEKT MIERNIKA REZYSTANCJI

Projekt wykorzystuje prosty system pomiarowy oparty o kartę pomiarową skomunikowaną z komputerem PC wyposażonym w środowisko programistyczne LabVIEW. Przyrząd precyzyjnie mierzy i gromadzi dane, by następnie przesyłać je do komputera za pomocą portu USB, gdzie następuje ich obróbka oraz przedstawienie wyników. Wykorzystano kartę pomiarową NI-USB 6008 dysponującą 8 analogowymi kanałami wejściowymi, z których 4 jest różnicowych o 12 bitowej rozdzielczości i zakresie od ± 1 V do ± 20 V, a 8 niesymetrycznych o 11 bitowej rozdzielczości i zakresie do ± 10 V, dwoma analogowymi kanałami wyjściowymi o 12 bitowej rozdzielczości i zakresie 0 do ± 5 V, dwunastoma cyfrowymi kanałami wejścia/wyjścia oraz 32-bitowym licznikiem. Centralną częścią karty pomiarowej NI USB-6008 jest mikrokontroler bezpośrednio skomunikowany z cyfrowymi portami wejścia/wyjścia. Złączony ze sobą mikrokontroler oraz zasilacz połączono z terminalem USB dzięki czemu nie jest wymagane oddzielne źródło zasilania. Zasadę działania przedstawia poniższy schemat – rysunek 1.

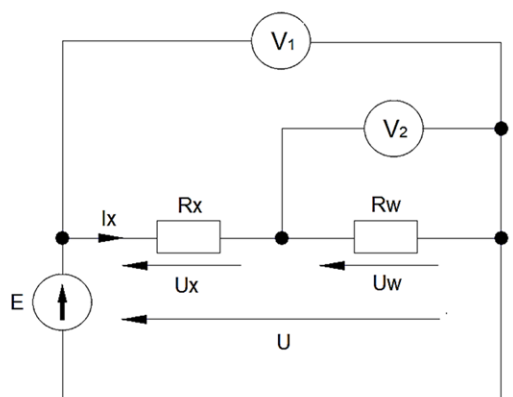


Rys. 1. Zasada działania karty pomiarowej NI USB-6008 [5]

Język programowania używany w LabVIEW nazywany jest G. Opiera się w dużej mierze na języku tekstowym C, z tym że operuje on na połączonych ze sobą blokach reprezentujących poszczególne operacje składające się na program. Graficzne przedstawienie kodu programu pozwala na efektywniejszą pracę w nauce – jest przejrzyste i intuicyjne.

Program w LabVIEW składa się z dwóch części: block diagram w którym następuje implementacja funkcji za pomocą wyżej wymienionych symboli blokowych oraz front panel służący do komunikacji z użytkownikiem urządzenia wirtualnego [2].

Do wykonania projektu wirtualnego miernika rezystancji wykorzystano metodę techniczną mierzącą spadek napięcia na dwóch opornikach. Jeden z nich to wzorzec, rezystor laboratoryjny R_{N1} o znanej wartości rezystancji potrzebny do uzyskania natężenia prądu pomiarowego w celu wydobycia wartości rezystancji badanej. W taki sposób możliwa jest realizacja postawionego zadania przy użyciu karty pomiarowej oferującej bezpośredni pomiar napięcia. Schemat i układ pomiarowy przedstawiono kolejno na rysunkach nr 2 oraz 3. Schemat blokowy objaśniający zasadę działania programu został ukazany na rysunku 4.



Rys.2. Schemat elektryczny układu pomiarowego

Gdzie:

R_X – rezystancja badana – opornik $100 \pm 5 \Omega$,

R_W – rezystor wzorcowy R_{N1} 100Ω ,

E – źródło napięcia stałego z karty pomiarowej,

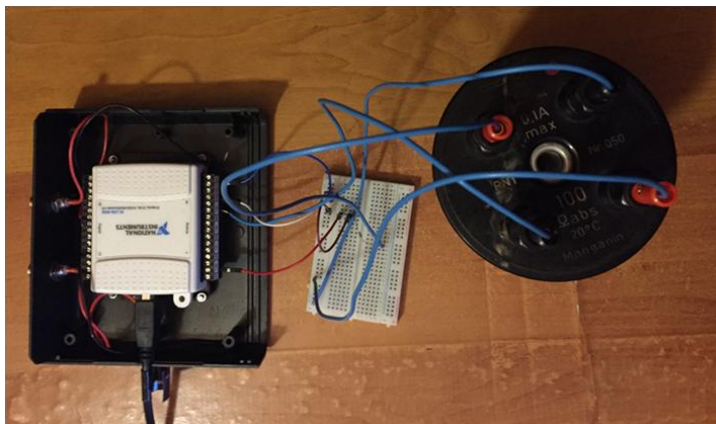
V_1, V_2 – woltomierze zrealizowane za pomocą karty pomiarowej,

I_X – natężenie prądu przepływającego przez rezystor badany,

U_X – spadek napięcia na rezystorze badanym,

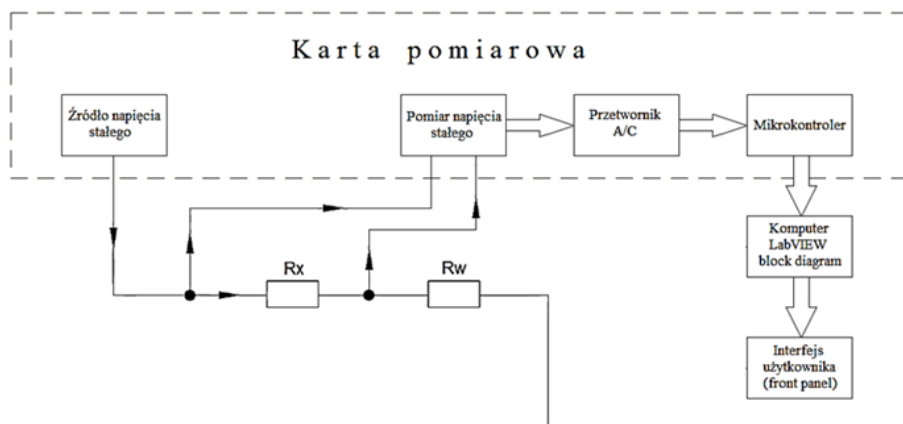
U_W – spadek napięcia na rezystorze wzorcowym,

U – suma spadków napięć na obydwu rezystorach.



Rys. 3. Układ pomiarowy

Przedstawiony powyżej układ jest możliwy w rozbudowie poprzez dodanie obudowy na kartę pomiarową wraz z gniazdami wtykowymi. Badać można dowolne rezystory, w tym przypadku użyto małych rezystorów powlekanych i płytki wtykowej.



Rys. 4. Zasada działania wirtualnego miernika rezystancji

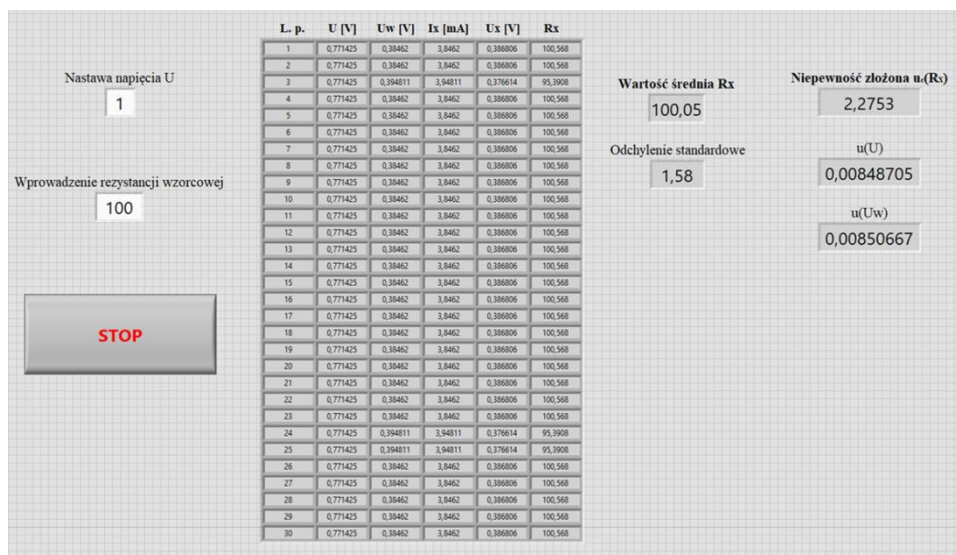
WZÓR MIERNIKA I OBSŁUGA URZĄDZENIA

Zgodnie ze schematem elektrycznym wartość rezystancji badanej określa się wyprowadzonym wzorem 2.

$$R_x = \frac{U - U_w}{\frac{U_w}{R_w}} = \frac{U - U_w}{U_w} R_w = \left(\frac{U}{U_w} - 1 \right) R_w \quad (2)$$

Aplikacja przedstawia pomiary napięcia badanego, wzorcowego i źródłowego oraz ich niepewności, prąd pomiarowy i rezystancję badaną

w domyślnie skonfigurowanej tabeli podającą 30 wierszy. Oprócz tego wylicza wartość średnią rezystancji badanej, odchylenie standardowe dla danej liczby pomiarów, a także złożoną niepewność pomiaru rezystancji, napięcia źródłowego i wzorcowego. Wszystkie czynności jakie może wykonać użytkownik wirtualnego miernika rezystancji odbywają się z poziomu front panelu przedstawionego na rysunku 5. Jest on bardzo prosty i intuicyjny, należy wpisać w okno Nastawa napięcia U jego pożądaną wartość w zakresie od 0 do 1 V. Następnie trzeba wpisać znaną wartość rezystancji wzorca pomiarowego w omach. Po wykonaniu powyższych działań, można uruchomić program.



Rys. 5. Front panel wirtualnego miernika rezystancji

W zależności od szybkości procesora program wykona się w czasie nie krótszym niż 3 sekundy, co wynika z zastosowania opóźnienia czasowego wynoszącego 100 ms dla każdej iteracji, zgodnie ze wzorem (3):

$$t = t_d n = 100 \cdot 30 = 3000 \text{ ms} = 3 \text{ s} \quad (3)$$

gdzie: t – czas wykonywania programu, t_d – zaimplementowane opóźnienie czasowe, n – liczba pomiarów.

PODSUMOWANIE

Zaprojektowane urządzenie wirtualne nadaje się do pomiaru rezystancji małych, jak i dużych w zależności od zastosowanego wzorca. Im bardziej wartość rezystancji wzorcowej będzie zbliżona do wartości badanej, tym dokładniejszy rezultat.

Składanie niepewności zaimplementowano w LabVIEW za pomocą prawa propagacji niepewności, jednak należy pamiętać o graficznej koncepcji języka

G. Długie równania matematyczne wymagają wielu bloków funkcyjnych przez co block diagram bardzo się rozrasta tworząc skomplikowaną wiązkę połączeń.

Płyta czołowa urządzenia wirtualnego prezentuje wyniki w sposób jasny i klarowny dzięki możliwości dowolnego formatowania wyświetlaczy i tabel. Obsługa przyrządu opiera się na połączeniu układu i wprowadzeniu dwóch wartości do programu przed jego uruchomieniem. Dane przekazywane są do oddzielnego pliku dzięki czemu możliwa jest ich dalsza obróbka i prezentacja.

Metoda techniczna oparta na pomiarze napięcia na rezystorze wzorcowym może być z powodzeniem zastosowana w zestawie z przyrządami użytymi w projekcie, w celu stworzenia miernika technicznego. Karta pomiarowa NI USB-6008 doskonale sprawdza się w realizacji zadań jej postawionych w ramach projektu, mierząc napięcie z niepewnością około 8,5 mV co jest wystarczające do użycia wyników w obliczeniach. Wirtualny miernik rezystancji w środowisku programistycznym LabVIEW podaje wynik z niepewnością ok. 2,3Ω.

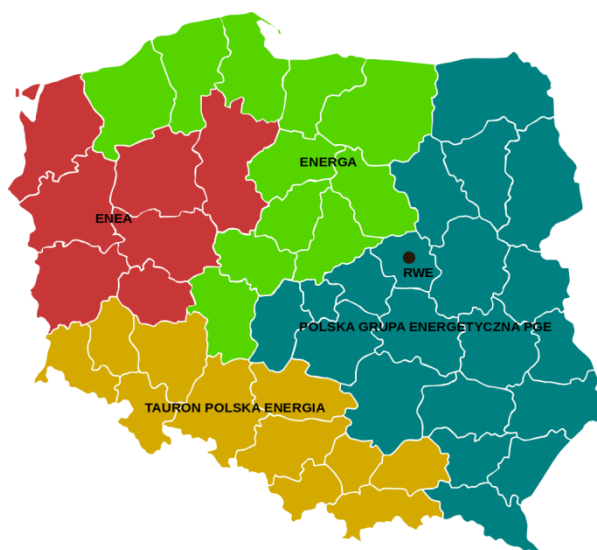
LITERATURA

- [1] Ashcroft N. W., Mermin N.D., Fizyka ciała stałego, Warszawa 1986
- [2] Chruściel M., LabVIEW w praktyce, Legionowo 2008
- [3] Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A., Metrologia elektryczna, Warszawa 1979, 2000
- [4] Derlecki S., Metrologia elektryczna i elektroniczna, Łódź 2005
- [5] National Instruments, Specifications USB 6008, www.ni.com/pdf/manuals/375295c.pdf, zasoby z dnia 17.01.2020
- [6] Żeberkiewicz A., Państwowy wzorzec jednostki miary rezystancji. Główny Urząd Miar, Warszawa, <https://www.gum.gov.pl/pl/dziedziny/elektrycznosc-i-magnety/stanowiska-pomiarowe>, zasoby z dnia 06.04.2020

MOBILNE STACJE TRANSFORMATOROWE SPOSOBEM NA ZWIĘKSZENIE CIĄGŁOŚCI ZASILANIA ODBIORCÓW

WSTĘP

Obecnie w sieci elektroenergetycznej zarejestrowanych jest 191 operatorów systemu dystrybucyjnego [1]. Do największych z nich zaliczani są: PGE Dystrybucja, TAURON Dystrybucja, ENERGA Operator, ENEA Operator i innogy Stoen Operator.



Rys. 1. Najwięksi dystrybutorzy energii elektrycznej w Polsce w raz z obszarami ich działania [2]

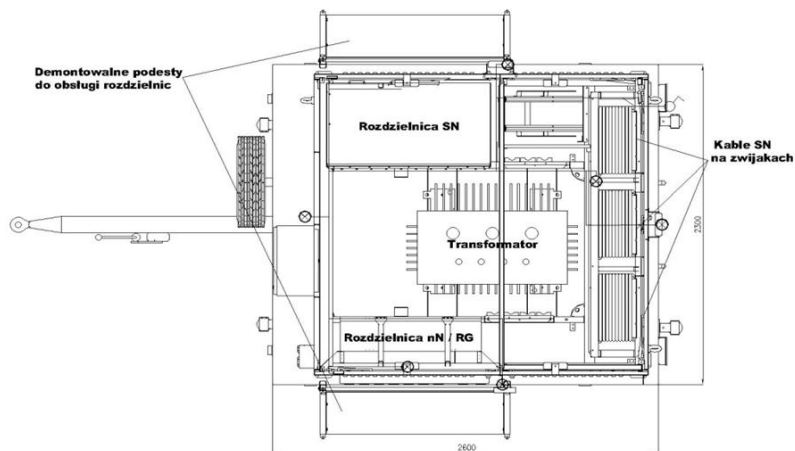
W dzisiejszych czasach jednym z najważniejszych wyzwań dla tych dostawców energii jest sprostanie wysokim oczekiwaniom odbiorców co do jej jakości i ciągłości dostaw, które z kolei zależą przede wszystkim od nakładów inwestycyjnych tych przedsiębiorstw na modernizację sieci i inne inwestycje związane z poprawą współczynników mówiącym nam o przerwach w dostawach energii.

Ostatnio na polskim rynku pojawiła się mobilna stacja transformatorowa, która wykorzystywana w odpowiedni sposób może okazać się świetnym środkiem, który służyć będzie znacznej poprawie tych wskaźników.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, stykkrzysztof@gmail.com

MOBILNA STACJA TRANSFORMATOROWA

Projekt mobilnej stacji transformatorowej zrodził się w Lublinie, a dokładnie w firmie Elektromontaż-Lublin Sp. z o.o., jako odpowiedź na potrzeby zakładów energetycznych na ich problemy związane z zapewnieniem pewności dostaw energii elektrycznej. Największym wyzwaniem dla inżynierów podczas projektowania stacji było zmieszczenie wszystkich niezbędnych urządzeń wraz z transformatorem w jak najmniejszej obudowie przy jednoczesnym nieprzekroczeniu masy całkowitej stacji powyżej 3,5 tony.



Rys. 2. Rzut pionowy mobilnej stacji transformatorowej

Stacja transformatorowa produkcji Elektromontaż-Lublin posadowiona na podwoziu jezdnym, 2-osiowym, z możliwością ciągnięcia za pojazdem, przystosowana jest do obsługi z zewnątrz i angażuje stosunkowo niewielką liczbę pracowników. Obsługa zestawu stacja-agregat to zespół 2-osobowy, a czas uruchomienia urządzeń przy współudziale zespołu pogotowia to niecała godzina.

Wykorzystanie mobilnej stacji transformatorowej połączonej z agregatem prądotwórczym dużej mocy w znaczący sposób ogranicza czas wszelkiego rodzaju przerw w dostawie energii elektrycznej podczas występowania różnych awarii. Umożliwia również prowadzenie prac planowych na rozgałęzieniach i magistralach sieci SN bez konieczności wprowadzania przerw w dostawach energii do odbiorców, co istotnie wpływa na obniżenie wskaźnika SAIDI (wskaźnik średniego czasu trwania przerw w dostawach energii elektrycznej wyznaczony w minutach na odbiorcę).

Konstrukcja przewoźnej stacji umożliwia wykorzystanie jej w wariantach:

- przy zasilaniu odbiorców na poziomie niskiego napięcia - poprzez mobilną stację zasilenie stacji linią lub liniami kablowymi lub napowietrznymi średniego napięcia,

- przy zasilaniu odbiorców na poziomie niskiego napięcia z zastosowaniem dodatkowego agregatu prądotwórczego,
- przy zasilaniu odbiorców na poziomie średniego napięcia - poprzez zasilanie stacji agregatem prądotwórczym po stronie niskiego napięcia.

Szczególną uwagę należy zwrócić na ostatnie zastosowanie. Nowatorskim rozwiązaniem jest zasilanie dużej liczby odbiorców na poziomie średniego napięcia 15 kV, np. kilka stacji transformatorowych zasilanych poprzez rozgałęzienie lub część wydzielonej sieci średniego napięcia. Taki sposób zasilania realizowany jest poprzez zasilenie stacji mobilnej po stronie niskiego napięcia za pomocą agregatu prądotwórczego dużej mocy, przetransformowanie napięcia do poziomu 15 kV, a następnie - poprzez kable SN, które znajdują się zwinięte w wydzielonym przedziale stacji – należy podpiąć na sieć SN napowietrzną lub kablową.

Tab. 1. Parametry znamionowe mobilnej stacji transformatorowej [3]

Parametr	Wartość
Moc znamionowa	400 kVA
Stopień ochrony obudowy	IP43
Częstotliwość	50 Hz
Masa stacji	3400 kg
Wymiary stacji (DxSxW)	2250x2160x2085 [mm]
Strona SN	
Napięcie znamionowe izolacji	24 kV
Napięcie robocze rozd. SN	15 kV
Prąd znamionowy ciągły szyn zbiorczych	630 A
Prąd znamionowy pola liniowego	630 A
Prąd znamionowy pola transformatora	200 A
Prąd szczytowy	40 kA
Prąd 1-sekundowy rozdzielnicy	16 kA
Strona nN	
Napięcie znamionowe izolacji	690 V
Napięcie robocze rozd. nN	420 V
Prąd znamionowy ciągły szyn zbiorczych	1250 A
Prąd znamionowy odpływów	630 A
Prąd znamionowy wyłącznika agregatowego	630A
Prąd szczytowy obwodu głównego	40 kA
Prąd 1-sekundowy obwodu głównego	20 kA

BUDOWA MOBILNEJ STACJI TRANSFORMATOROWEJ

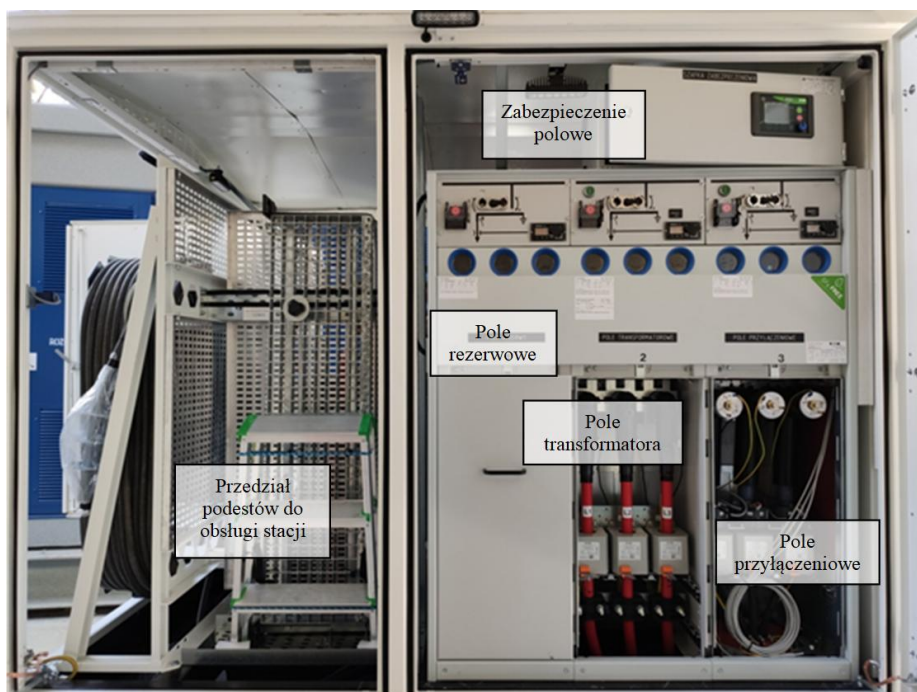
Kompaktowa mobilna stacja elektroenergetyczna składa się z trzech bloków funkcjonalnych umieszczonych w obudowie metalowej, na podwoziu jezdnym

2 - osiowym, z mechanizmem hamującym z możliwością ciągnięcia za pojazdem, przystosowana do obsługi z zewnątrz. Obsługa urządzeń w stacji z odbywa się z trzech stron. W skład stacji wchodzi:

- rozdzielnica średniego napięcia typu Xiria 630A
- rozdzielnica niskiego napięcia typu RNL 1250A
- transformator olejowy o mocy 400 kVA.

ROZDZIELNICA SN TYPU XIRIA

Jako rozdzielnicę SN w mobilnej stacji transformatorowej zastosowano rozdzielnicę przyjazną środowisku w izolacji stało-powietrznej typu XIRIA, produkcji EATON. Urządzenie to jest kompaktową rozdzielnicą składającą się z trzech pól: jednego pola rozłącznikowego (1) oraz dwóch pól z wyłącznikiem 200 A (2 i 3). Pole nr 3 dodatkowo wyposażone jest w zabezpieczenie połowe typu MUPASZ902E wraz z zestawem sensorów prądowych i napięciowych zamontowanych w przedziale kablowym rozdzielnicy, chroniące obsługę i stację przed skutkami zwarć i doziemień.

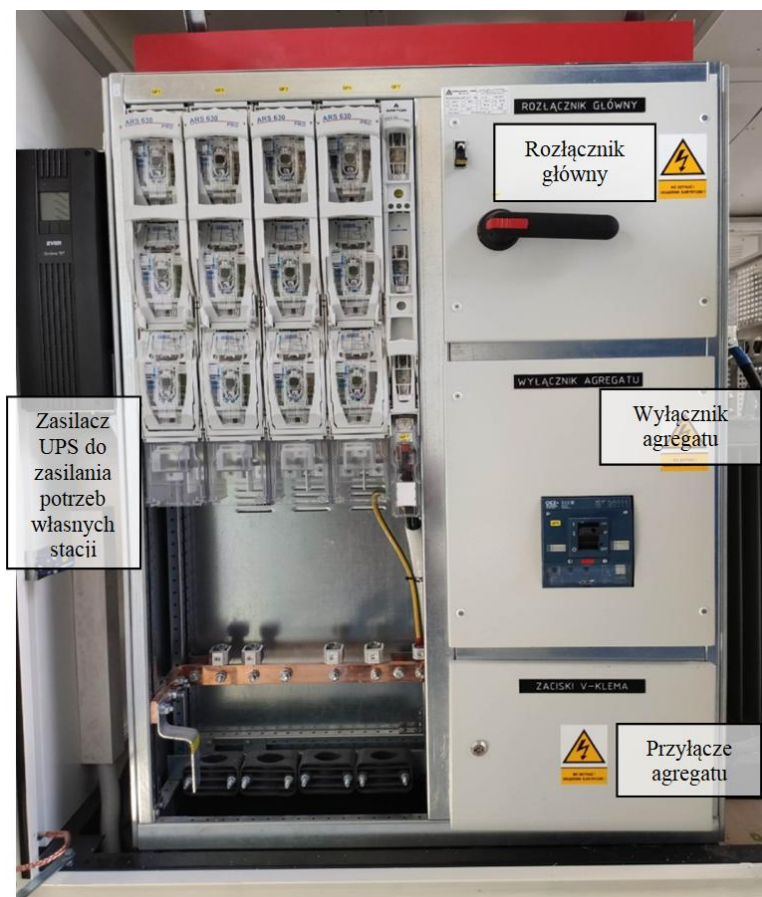


Rys. 3. Widok mobilnej stacji transformatorowej od strony rozdzielni SN po otwarciu drzwi

Do pola przyłączeniowego rozdzielni SN podłączone są elastyczne kable typu Silicoul na napięcie do 17,5 kV o długości 50 m każdy, zakończone głowicą napowietrzną połączoną z zaciskiem przyłączeniowym typu SL30 umożliwia-

ROZDZIELNICA NN TYPU RNL

- poprzez zaciski typu V
- poprzez zaciski typu Powerlock, które coraz częściej stosowane są na zaciskach wyjściowych agregatów prądotwórczych dużej mocy, szafka przyłączeniowa dla zacisków typu Powerlock znajduje się z przodu stacji
- poprzez końcówki kablowe.



Rys. 4. Widok mobilnej stacji transformatorowej od strony rozdzielnicy nN po otwarciu drzwi

TRANSFORMATOR

Jako transformator w mobilnej stacji transformatorowej zainstalowano jednostkę olejową o mocy 400 kVA, jest to największy transformator, jaki można wstawić do stacji ze względu na jej masę. Transformatora został umieszczony przez producenta stacji na specjalnych gumowych podkładach amortyzujących drgania, co przyczyniło się do zmniejszenia hałasu emitowanego przez stację. W przypadku awarii transformatora, można wymienić jednostkę poprzez demontowalny dach stacji.



Rys. 5. Widok mobilnej stacji transformatorowej od strony rozdzielnicy transformatora po otwarciu drzwi stacji

PODSUMOWANIE

Coraz ostrzejsze wymogi UE co do wskaźników jakościowych energii elektrycznej wymuszają na dystrybutorach zapewnienie odpowiednich poziomów współczynników takich jak SAIFI i SAIDI. Mobilna stacja transformatorowa to innowacyjne rozwiązanie, które wykorzystywane w przemyślny sposób z pewnością może pomóc w poprawie tych wskaźników. Urządzenie lubelskiego pro-

ducenta jest już na wyposażeniu oddziałów PGE Dystrybucja S.A., a pojawienie się go u pozostałych dystrybutorów to zapewne tylko kwestia czasu.

LITERATURA

- [1] <https://rejestry.ure.gov.pl>, zasoby z dnia 19.05.2020r.
- [2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Operator_systemu_dystrybucyjnego#/media/Plik:POL_Operator_Systemu_Dystrybucyjnego.svg, zasoby z dnia 19.05.2020r.
- [3] Dokumentacja techniczno-ruchowa mobilnej stacji transformatorowej

INTELIGENTNE TECHNOLOGIE W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM Z WYSZCZEGÓLNIENIEM SYSTEMÓW EIB/KNX

WSTĘP

Instalacja elektryczna to integralna część każdego budynku. Rozwój technologiczny wpływa na wygląd instalacji w nowoczesnym budynku. Na zmiany w głównej mierze mają wpływ potrzeba zwiększenia bezpieczeństwa, funkcjonalności, komfortu użytkowania oraz obniżenie kosztów eksploatacji budynku. Inteligentne systemy główny nacisk kładą na automatyzację wszystkich procesów w obiekcie od sterowania wentylacją, rekuperacją po sterowanie pojedynczymi punktami oświetleniowymi z każdego miejsca na ziemi.

Jednym z zadań inteligentnych instalacji jest integracja instalacji występujących w budynkach, które w klasycznej budowie nie są ze sobą powiązane. Dzięki zastosowaniu takich systemów można rozszerzyć funkcjonalność już istniejących instalacji.

Obecnie na rynku jest dostępnych wiele systemów oferujących automatykę budynkową. Wśród dostępnych rozwiązań przewagę zyskuje zdecentralizowany system KNX/EIB.

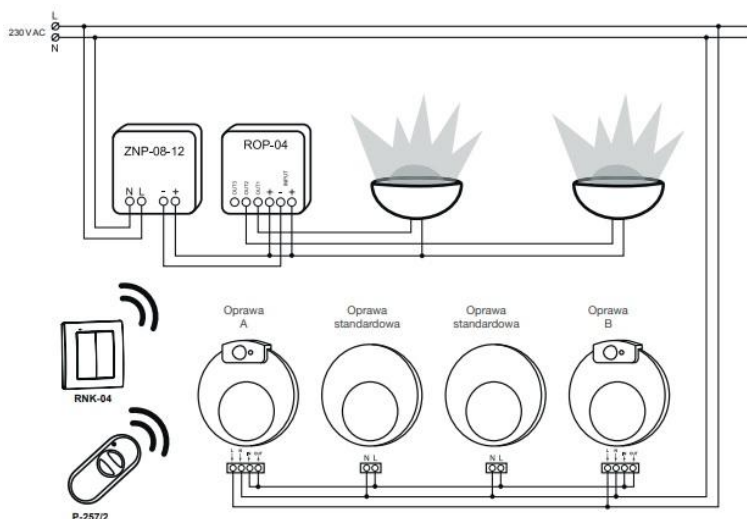
PRZEGLĄD SYSTEMÓW

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele rodzajów systemów. Wyszczególniono najbardziej popularne systemy. Rozróżniamy systemy bezprzewodowe i przewodowe, niewielkie instalacje oraz duże systemy, z centralną jednostką oraz zdecentralizowane [1].

Zamel EXTA LIFE to system inteligentnego domu, polska nowoczesna metoda sterowania oświetlenia, rolet oraz pracy urządzeń elektrycznych w instalacjach domowych i biurowych za pomocą czujników, sensorów [2]. Jest to prosty system oparty na sterowaniu radiowym. Odbiorniki systemu pracują w trybie: monostabilnym, bistabilnym oraz czasowym. Użytkownik definiuje tryb pracy urządzenia co wpływa na uniwersalność systemu. Istnieje możliwość montażu urządzeń w rozdzielnicach budynku (montaż na szynie TH35 – DIN), bezpośrednio za osprzętem elektrycznym w puszkach (puszka elektryczna 60 mm), a także urządzenia podłączane bezpośrednio do gniazdek elektrycznych. W porównaniu do innych systemów EXTA FREE wyróżnia łatwy i szybki

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, bartlomiej.zuchnik@pollub.edu.pl

montaż, prostota obsługi oraz niskie koszty instalacji. System można zainstalować, a następnie swobodnie rozbudować o nowe elementy.



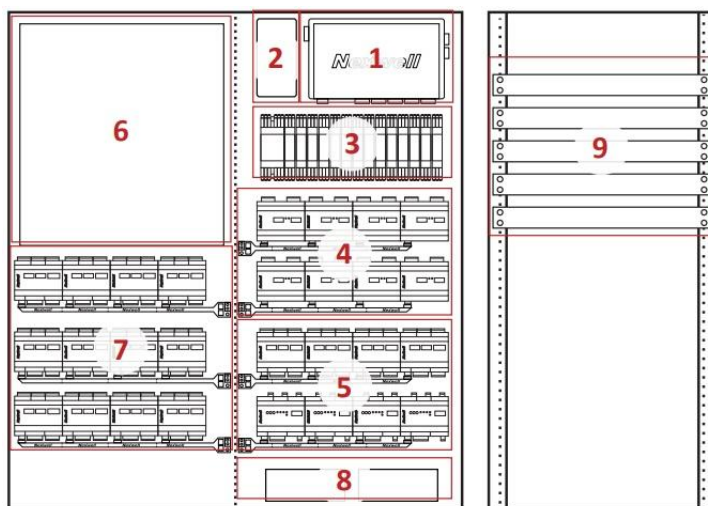
Rys. 1. Schemat podłączenia oprawy z czujnikiem ruchu w systemie EXTA LIFE [3]

Nexwell system zbudowany z myślą o budownictwie jednorodzinym, wyposażone są w podsystem alarmowy oraz podsystem automatyki, który daje możliwość integracji elementów budynku – m.in. oświetlenia, ogrzewania, automatyki bram, rolet i zraszaczy oraz videodomofonu i CCTV.

Podstawą działania systemu jest integracja urządzeń które są instalowane w każdym nowo powstałym domu. Dzięki wykorzystaniu systemu Nexo można połączyć z reguły autonomiczne urządzenia za pomocą dowolnie zaprogramowanych zależności logicznych.

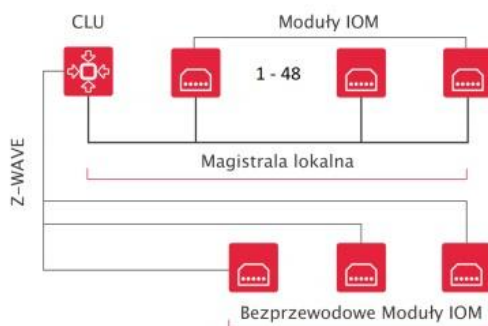
System Nexo stanowi zespół urządzeń zapewniający możliwość tworzenia szeroko rozwiniętej inteligencji. Prężny rozwój architektury wpływa na projekty elektryczne, które są w coraz większym stopniu skomplikowane. Powoduje to konieczność indywidualnego rozpatrywania każdego obiektu. System Nexo jest systemem zcentralizowanym przystosowanym do instalacji centralnych, w których występuje rozdzielnica główna obiektu. W rozdzielnicy obiektowej instalowane jest serce systemu wraz z rozszerzeniami, ponadto instaluje się tam elementy magistralne systemu [4].

System Inteligentnych budynków GRENTON został stworzony do obsługi małych, średnich i dużych obiektów. Instalacje oparte na systemie Grenton można w łatwy sposób modyfikować, rozbudować i łączyć z innymi systemami. System składa się z modułów CLU, IOM, Object Manager, sensory oraz aplikacje na smart fony [5].



Rys. 2. Widok przykładowej rozdzielni dla systemu Nexto [4]

System GRENTON daje możliwość tworzenia instalacji scentralizowanych jak i rozproszonych. W nowoprojektowanych budynkach zalecane jest sprowadzenie wszystkich obwodów do jednej rozdzielni elektrycznej. Daje możliwość elastycznego i ekonomicznego podejścia do projektowanej instalacji. Każde urządzenie, które ma być sterowane za pomocą systemu powinien zostać doprowadzony osobny obwód elektryczny zakończony w rozdzielnicy elektrycznej. W przypadku, gdy nie ma możliwości doprowadzenia osobnego przewodu do urządzenia są trzy możliwości sterowania: wyniesienie modułu CLU wraz z modułami IOM, wyniesienie jednego lub więcej modułów IOM, wykorzystanie radiowych modułów IOM działających w oparciu o Z-Wave. Ostatnie z rozwiązań zalecane jest w przypadku dostosowania istniejących instalacji do inteligentnych systemów.

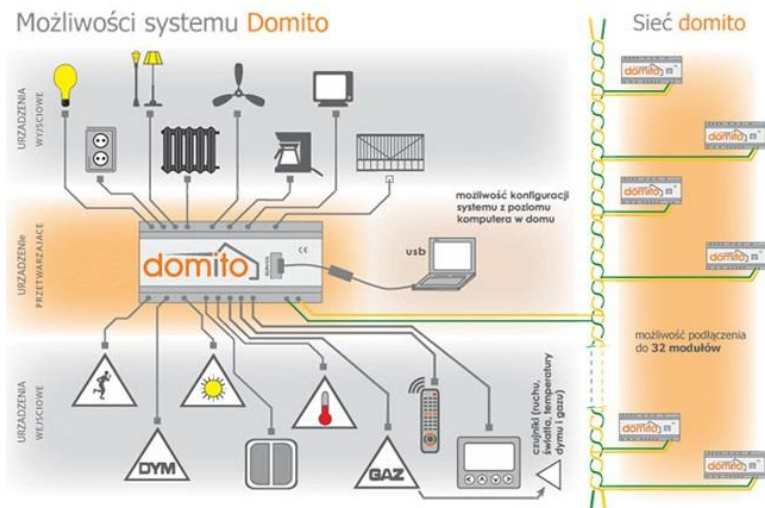


Rys. 3. Konfiguracja podstawowa – scentralizowany System z jednym CLU [5]

W systemie znajdują się dwie magistrale: systemowa, służąca do połączenia pomiędzy modułami CLU (Ethernet), lokalna, służąca do połączenia pomiędzy modułami CLU-IOM. [5].

Domito jest innowacyjnym systemem zintegrowanego sterowania domem. Integruje, kontroluje i steruje oświetleniem, ogrzewaniem, klimatyzacją, urządzeniami RTV i AGD, bramami i roletami, systemem zabezpieczeń, funkcjami bezpieczeństwa, zraszacami w ogrodzie, symuluje obecność użytkowników podczas ich nieobecności. Posiada możliwość wizualizacji systemu poprzez panel dotykowy oraz sterowania poprzez sieć Internet i telefon komórkowy.

System Domito funkcjonuje w oparciu o trzy typy urządzeń: urządzenia wejściowe (sensory) - urządzenia, które dostarczają informacji wejściowych „z zewnątrz” systemu, urządzenia wyjściowe (aktory) - urządzenia, które wykonują określone polecenia. Przykłady to: styk załączający żarówkę lub sterujący silnikiem rolet, urządzenia przetwarzające - to serce całego systemu. Serce systemu odpowiada za przetwarzanie informacji.

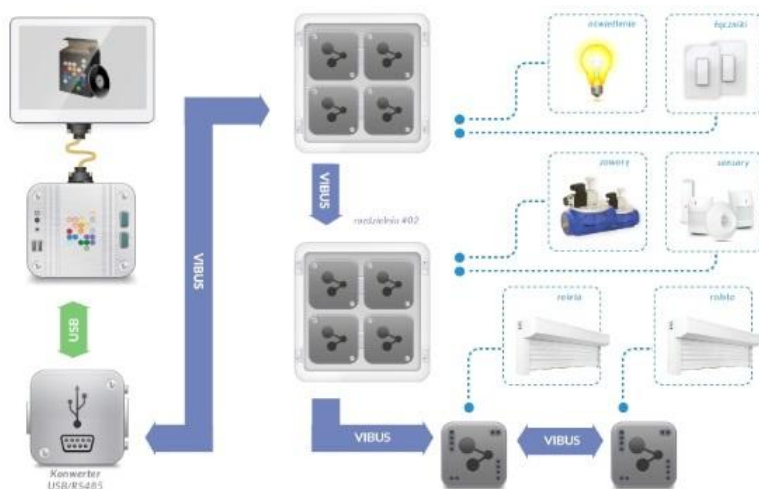


Rys. 4. Struktura systemu Domito [6]

FIBARO to kompletne i wydajne rozwiązanie do monitorowania i zarządzania domem. Zaletą systemu to bezinwazyjna instalacja. Nie trzeba kłaść oddzielnych obwodów do każdego z urządzeń. Moduły systemu są zminiaturyzowane, instaluje się w dowolnej puszcze podtynkowej za włącznik np: światła, rolety, itd. i działają w każdej instalacji. Elementy systemu automatyki domu nie "łączy" się trwale z infrastrukturą. W przypadku zmian w infrastrukturze budynku oraz instalacji nie ma konieczności wymiany urządzeń, wystarczy zainstalować w nowym miejscu. Dzięki sieci mesh, nowy moduł odświeży swoje położenie i będzie dalej współpracował z pozostałymi elementami systemu.

Vision BMS to polski system wprowadzony przez firmę APA Group. System jest skalowalny oraz w dużej mierze reprezentuje go elastyczność. Możliwości konfiguracyjne Vision BMS są bardzo duże, zarówno instalatorzy jak i użytkownicy mogą kreować funkcjonalność systemu, dopasowując go idealnie do zastosowanego obiektu. System dodatkowo daje możliwość dostosowania do specyficznych wymagań klienta przez dodanie specjalnie dla niego wykonanych modułów programowych. Pomimo cech systemu pozostaje on możliwie prosty w konfiguracji, nie wymaga znajomości języków programowania, a całą konfigurację można przeprowadzić poprzez przyjazny - graficzny interfejs [7].

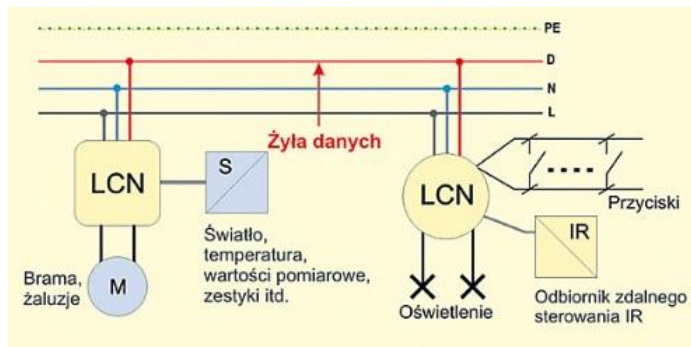
Vision BMS ma analogiczną scentralizowaną strukturę jak klasyczne systemy BMS przeznaczone dla dużych obiektów, większy nacisk został położony na jednostkę centralną systemu – komputer, dzięki takiemu rozwiązaniu nie blokują go żadne ograniczenia sprzętowe. Vision BMS zapewnia łatwą integrację z innymi systemami lub podsystemami.



Rys. 5. Struktura systemu Vision BMS [7]

LCN (Local Control Network) inteligentna sieć, znajdująca zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym, użyteczności publicznej, jak i przemysłowym [8]. Jedną z głównych cech jest wyeliminowanie podziału na osobne instalacje zasilające i informatyczne, które zostały połączone w jeden układ. Takie rozwiązanie zmniejsza koszty okablowania, umożliwia komunikację między różnymi częściami systemu. Ułatwia to planowanie instalacji i tworzenie funkcjonalnych rozwiązań. W systemie LCN wykorzystuje się programowalne moduły logiczne, które posiadają wejścia czujników i wyjścia elementów przełączających. W celu połączenia ze sobą modułów wykorzystuje się czterożyłowy przewód instalacyjny np. YDY 4x1,5. Moduły LCN mają wbudowane zasilacze i są zasilane przez żyły fazowe i neutralne. Mikroprocesorowe układy sterujące w każdym module

łączy żyła transmisji danych. Każdy dodatkowo przyłączony moduł zwiększa dostępną moc obliczeniową całego systemu. Dodanie nowego modułu zwiększa nie tylko liczbę funkcji na bazie lokalnych wejść czujników i wyjść elementów sterujących, ale także liczbę funkcji dostępnych w całej sieci. Taka sieć może być stopniowo rozbudowywana począwszy od jednego modułu.



Rys. 6. Schemat systemu LCN [8]

OMÓWIENIE SYSTEMU KNX

Wśród wszystkich systemów wyróżnia się zdecentralizowany system KNX/EIB. Zaletą tego systemu jest duża ilość urządzeń magistralnych dostępnych na rynku, każde z nich posiada oznaczenie „KNX” co poświadcza możliwość integracji z w/w systemem. System zyskał popularność dzięki dużym możliwościom.

Urządzenia wykorzystywane w systemie KNX można podzielić na dwie grupy: urządzenia magistralne, urządzenia systemowe. Urządzenia magistralne mają zastosowanie do wykonywania poszczególnych zadań jakie ma spełniać dana instalacja. Wśród tych urządzeń wyróżniamy dwie podgrupy: sensory i aktory [9].

Sensory nadają informację do systemu, czyli pełnią rolę czujników. Mają za zadania wygenerowanie polecenia do wykonania określonej funkcji. Przetwarzają parametry środowiska na wielkości elektryczne i kompresują do informacji zwanej telegramem, który jest wysyłany do innego urządzenia zwanego aktorem w celu wykonania określonej reakcji. Sensorem może być przycisk styku łącznika, czujnik ruchu, czujnik natężenia oświetlenia.

Aktory stanowią elementy wykonawcze. Ich zadaniem jest wykonywanie poleceń otrzymanych z magistrali. Aktory wykonują polecenia wysłane od sensorów. Aktorem może być ściemniacz światła, silnik rolety bądź żaluzji, punkty oświetleniowe itp.

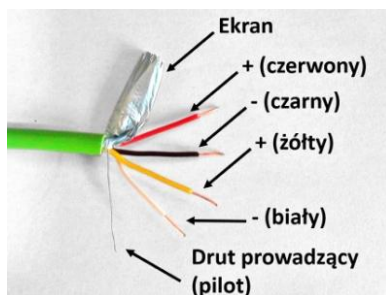
Urządzeni systemowe odpowiadają za prawidłową pracę systemu. Wśród nich jako najważniejsze można wyróżnić: zasilacze systemowe, sprzęgła i repetytory liniowe oraz złącza do komunikacji z komputerem [8]. Zasilacz jest

niezbędnym urządzeniem do poprawnego działania pozostałych urządzeń. Powinien posiadać napięcie znamionowe wynoszące 24 V, a prąd jego powinien być obliczony na podstawie obciążeń urządzeń do niego podłączonych.

SYSTEM KNX – MEDIA KOMUNIKACYJNE

W systemie KNX występują trzy rodzaje transmisji danych. Zależnie od wybranego medium komunikacyjnego instalacja posiada różne ograniczenia oraz różny koszt wykonania. W systemie KNX rozróżniamy komunikację opartą na skrętce dwuparowej, wykorzystującej dodatkowe żyły w linii zasilającej oraz komunikację radiową.

Skrętka dwuparowa KNX/EIB.TP jest to najczęściej spotykane medium komunikacyjne w obecnej chwili. Zastosowano tu mechanizm wykrywania kolizji na poziomie bitów z dominującym zerem logicznym [12]. Mimo wielu plusów posiada także swoje ograniczenia min.: maksymalna długość kabla wynosi 1000m, maksymalna odległość urządzenia i zasilacza wynosi 350 m.



Rys.7. Skrętka dwuparowa 2x2x0,8 [13]

Elektryczna linia zasilająca KNX/EIB.PL jest to medium komunikacyjne opierające się na metodzie modulacji sygnału pod nazwą rozszerzonego kluczowania zmianą częstotliwości. Częstotliwość fali nośnej jest zmieniana między dwoma stałymi wartościami 105,6 kHz (stanowiący bit zera) oraz 115,2 kHz (bit jedynki). Maksymalna odległość między dwoma komunikującymi się urządzeniami wynosi 600 m. Na komunikację elementów instalacji w tym medium mają wpływ zakłócenia elektromagnetyczne występujące w przewodach elektrycznych.

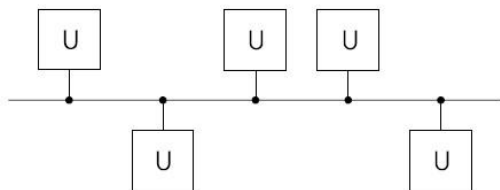
Częstotliwość radiowa KNX/EIB.RF posiada cztery częstotliwości nośne dzięki czemu linie są fizycznie od siebie odseparowane. W każdym kanale może pracować maksymalnie 64 urządzenia. Na otwartym terenie występuje ograniczenie odległościowe komunikacji między urządzeniami wynoszące 300m.

TOPOLOGIA SYSTEMU KNX

System KNX opiera się na topologii magistralnej. Charakterystyczne dla tego systemu jest połączenie urządzeń w linii. Dzięki temu istnieje możliwość komu-

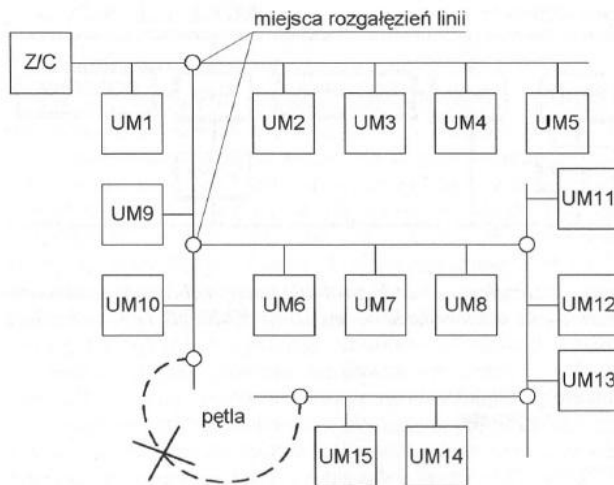
nikacji między nimi. KNX/EIB jest to system zdecentralizowany, czyli urządzenia komunikują się ze sobą bezpośrednio.

W systemie magistralnym występuje separacja obwodu zasilania energią elektryczną od obwodu, w którym odbywa się komunikacja. Takie wydzielenie obwodów jest zaletą z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej. W instalacji KNX można zatem wyróżnić dwa obwody: obwody pracujące na napięciu znamionowym, sieciowym (230/400 V) oraz obwody pracujące na bardzo niskim napięciu (SELV 24 V).



Rys. 8. Topologia magistrali [10]

W instalacji KNX najczęstszym medium komunikacyjnym jest skrętka dwuparowa TP. Urządzenia magistralne można połączyć przewodem na kształt drzewa otwartego. Przewody magistralne można rozgałęziać w dowolnym miejscu instalacji, w rzeczywistości rozgałęzienie występuje w puszkach instalacyjnych. Przy prowadzeniu instalacji inteligentnej najważniejsze jest, aby nie tworzyć z przewodu magistralnego pętli.



Rys. 9. przewodów magistralnych (Z/C – zasilacz, UM – urządzenie magistralne) [8]

KNX ADRESOWANIE

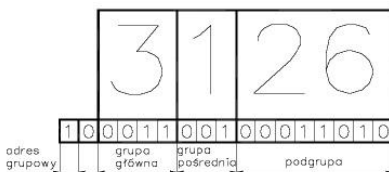
W omawianym systemie KNX/EIB istnieją dwa typy adresów: fizyczny i grupowy. Adres fizyczny określa miejsce elementu w strukturze instalacji, a adres grupowy służy do przyporządkowywania danego elementu do funkcji jakie powinien spełniać.

W strukturze systemu każde urządzenie posiada swój indywidualny numer nazywany adresem fizycznym. Można zauważyć związek kształtu adresu fizycznego do kształtu struktury topologii systemu. Adres fizyczny powinien nawiązywać do miejsca w jakim się znajduje dane urządzenie w systemie. Adres fizyczny składa się z trzech składowych oddzielonych kropkami, schemat ten opisuje się literami O.L.E. Pierwszy człon odpowiada numerowi obszaru w którym się znajduje dany element, druga pozycja to numer linii, a trzecia liczba stanowi numer urządzenia magistralnego w danej linii.



Rys.10. Kształt adresu fizycznego

Adres grupowy stanowi dodatkowy element mającym za zadanie określenie grup urządzeń wspólnie współpracujących. Adres grupowy odpowiada w strukturze logicznej systemu KNX za odpowiednie powiązanie ze sobą obiektów komunikacyjnych tak, aby wykonywały z góry zaprojektowane zadania. Adres grupowy wizualnie składa się z trzech bądź dwóch członów. W odróżnieniu od adresu fizycznego liczby nie są oddzielone od siebie kropkami tylko ukośnikami. W zależności od struktury adresu grupowego może przybierać postać dwupoziomą G/P, bądź strukturę trójpoziomą „G/Ś/P”.



Rys. 11. Kształt adresu grupowego

PROGRAMOWANIE

Programowanie instalacji w standardzie KNX może odbywać się na dwa sposoby. Zestawem narzędzi do programowania i uruchamiania instalacji w standardzie KNX/EIB jest oprogramowanie ETS (ang. EIB Tool Software).

Jest to program często stosowany wśród instalatorów. Uruchomienie instalacji odbywa się przez przesłanie telegramów programujących pamięci EEROM urządzeń magistralnych. Lokalizacja w/w urządzeń nie jest istotna, natomiast ważne jest aby każdy z nich posiadał odpowiednio zdefiniowany adres fizyczny, który określa położenie danego elementu w strukturze systemu.

Drugi sposób polega na automatycznym programowaniu urządzeń magistralnych za pomocą dedykowanego programatora. Ten sposób pozwala na zaprogramowaniu instalacji bez większej znajomości możliwości urządzeń. Korzystanie z tego sposobu daje możliwość programowania systemów instalatorom mniej zaznajomionych z strukturą systemu KNX [32]. Występuje tutaj pewne ograniczenie wprowadzone przez producentów, istnieje możliwość zaprogramowania tylko tych urządzeń, które są tej samej firmy co programator (Hager Tebis TX).



Rys. 9. Programator systemu KNX [13]

PODSUMOWANIE

W pracy za zadanie główne podjęto próbę przybliżenia najbardziej popularnych systemów automatyki budynkowej. Dokonano większego opisu inteligencji budynkowej opartej na systemie KNX/EIB. Inteligentne rozwiązania w budownictwie zapewniają zwiększenie komfortu życia i dają możliwość zcentralizowania sterowania całym budynkiem w jedno miejsce. System KNX zdominował rynek i daje najwięcej opcji pod względem funkcjonalnym. Dlatego na rynku mamy dużą ilość urządzeń współpracujących z systemem w standardzie KNX.

LITERATURA

- [1] Kurz D., Porównanie systemów automatyki budynkowej dla domu jednorodzinnego, Wydawnictwo Naukowe Politechniki Poznańskiej, 2017
- [2] <https://zamel.com/pl-PL/produkty/exta-life-inteligentny-dom>, zasoby z 10.05.2020

- [3] Katalog produktów Zamel
- [4] Instrukcja instalatora systemu Nexo wersja 1.0 | 2016
- [5] Instrukcja Systemu Grenton 2.0 - v.1.0.3 - 2019/11/18
- [6] <https://www.dommodelowy.pl/?module=materials&action=item&id=1224>, zasoby z 10.05.2020
- [7] <http://www.instalacjebudowlane.pl/7963-24-12395-vision-bms--system-inteligentnego-budynku-otwarty-na-pomysly.html> zasoby z 10.05.2020
- [8] Klajn A., Bielówka M.: Instalacja elektryczna w systemie KNX/EIB, Podręcznik INPE dla Elektryków, Warszawa 2006
- [9] Niestępski S, Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne – budowa, projektowanie i eksploatacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001
- [10] Petykiewicz P., Technika systemowa budynkowa instabus EIB – podstawy projektowania, Siemens SP. z o. o., Warszawa 1999
- [11] www.eib.pl, zasoby z 10.05.2020
- [12] <http://www.fachowyelektryk.pl/technologie/inteligentny-budynek/74-knx-standard-w-dziedzinie-inteligentnych-instalacji-elektrycznych.html>, zasoby z 10.05.2020

ASPEKTY PRAWNE PRZYŁĄCZANIA INSTALACJI OZE DO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

WSTĘP

W ostatnich latach dużą popularność zyskały odnawialne źródła energii wykorzystujące energię słoneczną i wiatrową. Obecny trend jest powodem prowadzonej polityki klimatyczno - energetycznej Unii Europejskiej oraz Polski w celu zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery i zmniejszenia udziału jednostek wytwórczych wykorzystujących paliwa kopalne w produkcji energii elektrycznej. Wzrost zapotrzebowania na energię i rosnąca świadomość społeczeństwa związana z korzyściami dla środowiska ma wpływ na rozwój instalacji opartych o odnawialne źródła energii. Ponadto uzyskuje się zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i konkurencyjności cen na rynku energii.

Istotną kwestią jest podłączenie alternatywnych jednostek wytwórczych do systemu elektroenergetycznego. Jest to skomplikowany i czasochłonny proces wymagający znajomości prawa i procedur administracyjnych dlatego też temu będzie poświęcony niniejszy artykuł.

INSTALACJE FOTOWOLTAICZNE – PRZYŁĄCZANIE DO SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Potrzeba ujednolicenia przepisów w krajach Unii Europejskiej wprowadziła zmiany w procesie przyłączania instalacji OZE do sieci. W zależności od grupy do, której przynależą moduły wytwarzania energii procedura przyłączenia ma inny przebieg. Grupy podzielone zostały ze względu na planowaną moc:

- Grupa A - Instalacje o mocy od 0,8 kW do 200 kW
- Grupa B - Instalacje o mocy od 200kW do 10 MW
- Grupa C - Instalacje o mocy od 10 MW do 75 MW
- Grupa D - Instalacje o mocy powyżej 75 MW.

Mikroinstalacje o mocy nie większej niż 50 kW przyłączone do sieci o napięciu niższym od 110 kV można przyłączyć na dwa sposoby:

Przyłączenie na podstawie zgłoszenia

Warunkiem jest aby zainstalowana moc instalacji była mniejsza niż moc przyłączeniowa obiektu ubiegającego się podmiotu będącego odbiorcą końcowym przyłączonym do sieci dystrybucyjnej.

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

Właściciel zakładu wytwarzania energii zobowiązany jest wykazać właściwemu operatorowi systemu spełnienia wymogów określonych w NC RfG oraz IRiESP/IRiESD poprzez pomyślne przeprowadzenie procedury pozwolenia na użytkowanie. Rozpoczyna się ono od montażu modułów przez wykwalifikowanego wykonawcę posiadających ważne uprawnienia, który zagwarantuje poprawną realizację projektu, montaż i funkcjonowanie mikroinstalacji przy spełnieniu jednocześnie bezpieczeństwa pracy mikroinstalacji i współpracy z siecią elektroenergetyczną nN. Następnie należy złożyć wypełniony dokument Zgłoszenie/Dokument instalacji właściwy u danego operatora sieci należy dostarczyć do miejscowego zakładu energetycznego wraz ze:

- schematem elektrycznym obiektu przedstawiającym sposób podłączenia mikroinstalacji
- specyfikacją techniczną dla instalacji fotowoltaicznej
- schematem elektrycznym instalacji z wewnętrznym źródłem
- wydruk Krajowego Rejestru Sądowego lub z Centralnej Ewidencji i Informacji o Działalności Gospodarczej
- pełnomocnictwa dla osób upoważnionych przez zgłaszającego do występowania w jego imieniu.

Złożone dokumenty podlegają weryfikacji i w przypadku kompletności zgłoszenia o przyłączenie mikroinstalacji zgłaszający otrzymuje pisemne potwierdzenie otrzymania zgłoszenia wraz z informacją o terminie przyłączenia mikroinstalacji. Po tym następuje parametryzacja lub wymiana układu pomiarowo – rozliczeniowego po wcześniejszym stwierdzeniu przez operatora systemu poprawności jego zabudowy. Aby móc wytwarzać energię elektryczną należy zawrzeć Umowę o świadczenie usług dystrybucji energii elektrycznej wprowadzanej do sieci dystrybucyjnej z mikroinstalacji i Umowę sprzedaży energii wprowadzanej do sieci dystrybucyjnej z kupującą energię elektryczną Spółką Obrotu lub poprzez zawarcie umowy kompleksowej ze sprzedawcą energii regulującą zasady rozliczania energii wprowadzanej do sieci [4].

Mikroinstalacja musi spełniać wymagania techniczne i eksploatacyjne zawarte w art. 7a ustawy Prawo energetyczne, Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego i Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Dystrybucyjnej.

Przyłączenie na podstawie złożenia wniosku o określenie warunków przyłączenia

Odbywa się to w przypadku gdy moc zainstalowana mikroinstalacji jest większa od mocy przyłączeniowej obiektu ubiegającego się podmiotu lub gdy obiekt ten nie jest podłączony do sieci.

Dla instalacji grupy A procedura przebiega podobnie jak przy wyżej opisana dla przyłączenia na podstawie zgłoszenia. Wiąże się to ze złożeniem poprawnie wypełnionego wniosku o określenie warunków przyłączenia wraz z załącznika-

mi w nim wymienionymi. Pozytywna weryfikacja dokumentów wiąże się zawarciem umowy o świadczenie usług dystrybucji. Po zawarciu umowy następuje wykonanie przyłącza, sprawdzenie i opłombowanie. Informacja o przyłączonej instalacji jest odwzorowana w systemach informatycznych [1].

Na podstawie wniosku o określenie warunków przyłączenia dokonuje się przyłączenia instalacji należących do grup B, C, D. Przed złożeniem wniosku konieczne jest uzyskanie kopii Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego. Jeśli nie obowiązuje na danym obszarze należy doprowadzić do jego sporządzenia lub wystąpić z wnioskiem o wydanie decyzji warunków zabudowy i zagospodarowania terenu. Do wniosku powinny być dołączone dokumenty:

- dokument potwierdzający tytuł prawny do korzystania z obiektu lub nieruchomości, na którym będzie się znajdować instalacja fotowoltaiczna
- plan zabudowy lub szkic określający lokalizację przyłączanego obiektu
- parametry techniczne, charakterystyki ruchowe i eksploatacyjne urządzeń, specyfikację techniczną oraz karty katalogowe
- schemat elektryczny instalacji wewnętrznej (źródła) wraz ze schematem stacji elektroenergetycznej źródła i długości i typy linii elektroenergetycznych zasilających źródło.

Następnie złożone dokumenty są weryfikowane pod kątem kompletności i poprawności. Po zakończonym montażu należy jeszcze złożyć wniosek o gotowości do przyłączenia i dopiero po jego zaakceptowaniu powoływana jest komisja do sprawdzenia zgodności instalacji. Sprawdzeniu podlegają moduły wytwarzające energię wraz z układami EAZ, urządzenia wyprowadzenia mocy, układy telemechaniki i inne układy wynikające z warunków przyłączenia. Po sprawdzeniu i pozytywnej ocenie właściciel zakładu wnosi zaliczkę na poczet opłaty za przyłączenie. Kwota jest naliczana zgodnie z ustawą Prawo energetyczne, według której każdy kilowat mocy przyłączeniowej kosztuje 30zł lecz wysokość opłaty nie może być większa niż 3 000 000zł. Zaliczka musi być opłacona w terminie 14 dni w przeciwnym razie wniosek nie zostanie rozpatrzony. Dopełnienie tych formalności daje możliwość zawarcia terminowej umowy o świadczenie usług dystrybucji. Po tym możliwe staje się podanie napięcia, następuje naniesienie znaczników w systemach elektroenergetycznych za monitorowanie pracy oraz rozpoczynają się testy jednostek wytwórczych. Zgodnie z wymogami NC RfG w celu uzyskania pozwolenia na użytkowanie na potrzeby przyłączenia każdego nowego modułu wytwarzania energii typu B i C właściciel zakładu wytwarzania energii przedstawia właściwemu operatorowi systemu dokument modułu wytwarzania energii („PGMD”), który zawiera poświadczenie zgodności[7].

Dla modułów wytwarzania energii typu B w przypadku nie otrzymania odpowiedniego certyfikatu, zgodnie z procedurą „Warunki i procedury wykorzystania certyfikatów w procesie przyłączania modułów wytwarzania energii do sieci elektroenergetycznej” na daną zdolność, wymaga się potwierdzenia spełnienia wymagań poprzez test zgodności realizowany w trybie uproszczonym

zgodnie z „Procedurą testowania modułów wytwarzania energii wraz z podziałem obowiązków między właścicielem zakładu wytwarzania energii a operatorem systemu na potrzeby testów. Sprawozdanie z testów zgodności realizowanych w trybie uproszczonym jest częścią dokumentu PGMD.

Dla modułów wytwarzania energii typu C i D na podstawie ramowego programu, uwzględniając uwarunkowania techniczne modułu wytwarzania energii oraz uwarunkowania po stronie Właściwego Operatora Systemu, Właściciel zakładu wytwarzania energii opracowuje program szczegółowy. Program szczegółowy musi być uzgodniony z Właściwym Operatorem Systemu i uwzględniać uwarunkowania pracy Właściwego Operatora Systemu i Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) (grafiki obciążeń, termin i godziny przeprowadzenia testów) w terminie przeprowadzenia testu. Testy urządzeń wytwórczych kończą się sprawozdaniem, które jest załącznikiem do dokumentu PGMD.

Dokument PGMD powinien zostać przekazany przez właściciela zakładu wytwarzania energii właściwemu operatorowi systemu, który dokonuje jego weryfikacji. Gdy weryfikacja przebiegnie pomyślnie operator systemu przekazuje właścicielowi zakładu wytwarzania energii ostateczne pozwolenie na użytkowanie co pozwala na zawarcie bezterminowej umowy o świadczenie usług dystrybucyjnych.[5]

Dla modułów wytwarzania energii należących do grupy D procedura pozwolenia na użytkowanie w na potrzeby przyłączenia obejmuje:

- pozwolenie na podanie napięcia EON
- tymczasowe pozwolenie na użytkowanie ION
- ostateczne pozwolenie na użytkowanie FON.

Pozwolenie na podanie napięcia dla modułów wytwarzania energii EON wydawane jest przez właściwego operatora systemu na wniosek właściciela zakładu wytwarzania energii. Po stronie właściciela zakładu wytwarzania energii należy:

- przygotowanie i realizacja prac przyłączenia obiektu do sieci
- przeprowadzenie odbiorów w stanie beznapięciowym
- przekazanie protokołów odbioru do WOS
- przekazanie oświadczenia o gotowości do przyjęcia napięcia zgodnie ze wzorem WOS
- złożenie kompletnego wniosku o wydanie pozwolenia na podanie napięcia EON wraz z wymaganymi załącznikami.

Natomiast właściwy operator systemu dokonuje starań w celu umożliwienia przyłączenia obiektu do sieci i przeprowadza odbiory. Po tym dokonuje sprawdzenia protokołu odbioru przekazanego przez właściciela oraz weryfikacji wniosku EON wraz z załącznikami. Po pozytywnym rozpatrzeniu następuje wystawienie EON i zostaje zawarta umowa o świadczenie usług dystrybucji co najmniej w zakresie poboru energii z sieci. Pozwolenie EON jest ważne 24 miesiące lub do czasu wystawienia pozwolenia ION. [2,3,6]

Procedura tymczasowego pozwolenia na użytkowanie ION rozpoczyna się po podaniu napięcia na urządzenia pomocnicze modułu wytwarzania energii przed jego pierwszą synchronizacją. W tym celu właściciel zakładu wytwarzania energii dokonuje:

- załączenie napięcia na sieć wewnętrzną modułu wytwarzania energii
- przeprowadzenia prób i odbiorów, realizowanych po podaniu napięcia na instalacje pomocnicze modułu wytwarzania
- złożenia kompletnego wniosku o wydanie tymczasowego pozwolenia na użytkowanie ION wraz z wymaganymi załącznikami.

W międzyczasie właściwy operator systemu dokonuje:

- przygotowania i realizacji prac umożliwiających przeprowadzenie synchronizacji przyłączanego modułu wytwarzania energii z siecią
- weryfikacja poprawności wniosku ION wraz z załącznikami
- podjęcie decyzji o wydaniu pozwolenia ION oraz o planowanym terminie przeprowadzenia pierwszej synchronizacji modułu wytwarzania energii z siecią właściwego operatora systemu.

Pozwolenie ION traci ważność z dniem w nim określonym lub po wydaniu pozwolenia FON, jednak czas jego obowiązywania nie może być dłuższy niż 24 miesiące.

Pozwolenie FON wydaje się na wniosek właściciela zakładu wytwarzania energii po wydaniu tymczasowego pozwolenia na użytkowanie ION (w terminie ważności pozwolenia ION) i przeprowadzeniu pierwszej synchronizacji oraz po spełnieniu określonych wymagań właściciel zakładu wytwarzania energii dokonuje:

- przygotowania i realizacji prac końcowych umożliwiających pracę modułu wytwarzania energii
- uzupełnienia braków z wykazu uzupełnień zgłoszonych przez właściwego operatora systemu w pozwoleniu ION
- wysłania oświadczenia o gotowości do przeprowadzenia testów sprawdzających parametry technicznoruchowe zgodnie z zapisami umowy o przyłączenie wraz z wymaganymi załącznikami
- uzgodnienia terminów przeprowadzenia testów z właściwym operatorem systemu
- przeprowadzenia wymaganych testów z wynikiem pozytywnym
- złożenia do właściwego operatora systemu kompletnego wniosku o wydanie pozwolenia FON (wraz z wymaganymi dokumentami i innymi załącznikami).

Natomiast właściwy operator systemu dokonuje:

- sprawdzenia uzupełnienia braków z wykazu uzupełnień zgłoszonych przez właściwego operatora systemu w pozwoleniu ION
- uzgodnienia terminów i zakresu przeprowadzenia testów z właścicielem zakładu wytwarzania energii
- weryfikacji wniosku o wydanie pozwolenia FON wraz z załącznikami

- przygotowanie i przesłanie do właściciela zakładu wytwarzania energii wykazu błędnych / niewystarczających / brakujących danych
- wydanie pozwolenia FON.

Wydanie fon finalizuje proces uzyskania pozwolenia i umożliwia pracę modułu parku energii.[6]

PODSUMOWANIE

Proces przyłączeniowy instalacji fotowoltaicznych do systemu elektroenergetycznego jest czasochłonny i skomplikowany zwłaszcza podczas przyłączania dużych obiektów. Często napotykanne problemy z kompletowaniem dokumentacji technicznej w celu określenia warunków przyłączeniowych, nieznajomość przepisów prawa oraz brak doświadczenia w prowadzeniu inwestycji może zakończyć się niepowodzeniem. Problemy administracyjne związane sformułowanie jednolitej instrukcji z niepoprawnie wypełnionymi wnioskami, brakiem decyzji i pozwoleń powodują wydłużenie terminu realizacji. Rozwiązaniem jest wprowadzenie jednolitej dotyczącej warunków przyłączeniowych każdego Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) działającego na obszarze kraju. Mniej problemów sprawia podłączenie mikroinstalacji ze względu na mniejszą liczbę wymogów prawnych i technicznych a ich czas przyłączenia a jest zagwarantowany przez Urząd Regulacji Energetyki w terminie 30 dni, licząc od daty złożenia wniosku o przyłączenie bądź zgłoszenie[2].

LITERATURA

- [1] <https://pgedystrybucja.pl/przylaczenia/procedury-przylaczeniowe/Procedura-przylaczenia-mikroinstalacji>, zasoby z 10.04.2020
- [2] Sylwia Bartnikowska, Anna Olszewska, Wojciech Czekala. Stan obecny przyłączeń instalacji OZE do systemu elektroenergetycznego. *POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL* 2017, Tom 20, Zeszyt 2, s.117–128
- [3] ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2016/631 z dnia 14 kwietnia 2016 r. ustanawiające kodeks sieci dotyczący wymogów w zakresie przyłączenia jednostek wytwórczych do sieci
- [4] Procedura pozwolenia na użytkowanie dla modułów wytwarzania typu A do 50 kW mocy zainstalowanej (mikroinstalacje) przyłączanych na Zgłoszenie zgodnie z Art. 7 ust. 8d4 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. PGE Dystrybucja S.A. Kwiecień 2019
- [5] Procedura pozwolenia na użytkowanie dla modułów wytwarzania typu B o mocy maksymalnej od 0,2 MW do 10,0 MW oraz typu C o mocy maksymalnej od 10,0 MW do 75,0 MW. PGE Dystrybucja, kwiecień 2019
- [6] Procedura pozwolenia na użytkowanie dla modułów wytwarzania energii typu D. PGE Dystrybucja, kwiecień 2019
<https://pgedystrybucja.pl/przylaczenia/procedury-przylaczeniowe/Procedura-przylaczenia-Wytworcow>, zasoby z 10.04.2020

WYBRANE ZAGADNIENIA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ, A PUNKTY ŁADOWANIA SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH

WSTĘP

Obecnie w branży automotive obserwuje się trend odstępowania od zasilania pojazdów samochodowych paliwami stałymi na rzecz pojazdów elektrycznych o zasilaniu bateryjnym – EV oraz pojazdów hybrydowych, w których napęd konwencjonalny jest wspomagany napędem elektrycznym zasilanym z baterii (hybryda typu plug-in – PHEV).

Żeby utrzymać tendencję upowszechniania pojazdów elektrycznych wyposażonych w baterie należy zapewnić niezbędną infrastrukturę umożliwiającą ładowanie tychże pojazdów. Stacje ładowania powinny być ogólnodostępne oraz szybkie, żeby mogły stanowić realną alternatywę dla pojazdów konwencjonalnych. Rozszerzanie sieci ładowania pojazdów elektrycznych oraz stosowanie co raz to szybszych ładowarek stanowi wyzwanie dla systemu elektroenergetycznego.

SPOSOBY ŁADOWANIA SAMOCHODÓW

Organizacje przedstawiające środowiska z branży automotive oraz elektroenergetycznej dążą do ustandaryzowania systemów ładowania pojazdów elektrycznych. Najbardziej popularnym podziałem jest podział na 3 poziomy w zależności od szybkości uzupełniania energii akumulatorów [1].

Poziom 1. jest najwolniejszym sposobem ładowania. Urządzenia działające na tym poziomie stosuje się w domach prywatnych. Założenie jest takie, że użytkownik samochodu elektrycznego, używający poziomu pierwszego, będzie podłączał pojazd do ładowania w nocy co z wykorzystaniem odpowiednich taryf energii ma skutkować niskimi opłatami za energię elektryczną. Ze względu na najbardziej rozpowszechniony dostęp do tego poziomu wszystkie pojazdy EV jak i PHEV powinny być wyposażane w możliwość takiego ładowania.

Poziom 2. jest wykorzystywany przy większych skupiskach samochodów elektrycznych. Umożliwia on dużo szybsze ładowanie pojazdu w związku z czym często na takie rozwiązanie decydują firmy oferujące swoim pracownikom możliwość parkowania samochodu na parkingu firmowym.

Poziom 3. jest najbardziej komercyjnym rozwiązaniem. Swoje zastosowanie znajduje tam, gdzie użytkownik nie spędza zbyt dużo czasu, np. parkingi przy

Politechnika Lubelska, WEiI, jakub.mlodzikowski@pollub.edu.pl

autostradach i centra handlowe. Jest najszybszym sposobem ładowania, ale też najbardziej wymagającym od systemu elektroenergetycznego.

Tab. 1. Zestawienie poziomów ładowania samochodów elektrycznych

		Poziom 1 (level 1)	Poziom 2 (level 2)	Szybkie ładowanie (fast charge)
Napięcie	V	120	208/240	200–450
Typ łącza	-	1f AC	1f lub 3f AC	DC
Moc użyteczna	kW	1,4	7,2	50
Maksymalna moc wyjściowa	kW	1,9	19,2	150
Czas ładowania	h	12	3	0,3

Wyżej wymienione poziomy dotyczą ładowania przewodowego, które możemy dodatkowo podzielić na ładowanie pokładowe i zewnętrzne. Systemy pokładowe są to ładowarki, które są zainstalowane w pojeździe na stałe i obsługują poziom 1. Dąży się jednak, aby ładowarki pokładowe osiągały moc przynajmniej 6,6kW. Ładowarki zewnętrzne służą do szybkiego ładowania pojazdów poza domem. W tego typu ładowarkach dominuje ładowanie prądem stałym.

W tabeli poniżej zaprezentowano zestawienie parametrów ładowania najlepiej sprzedających się samochodów elektrycznych w 2016 roku. [1]

Tab. 2. Zestawienie parametrów ładowania najpopularniejszych samochodów w 2016

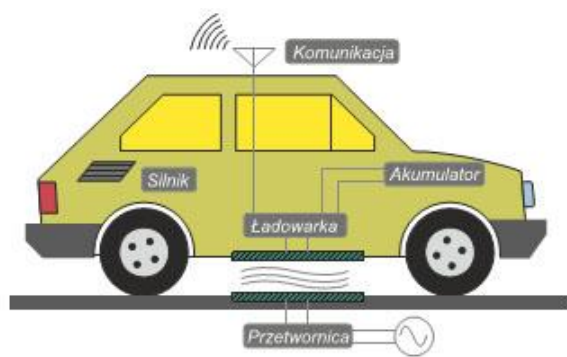
L.p.	Model pojazdu	Typ	Bateria	Ładowarki poziomu 1 i 2	Czas ładowania	Szybkie ładowanie (do 80% pojemności elektrycznej)	Sprzedaż na świecie w 2016 [tys.] [13]
1	Tesla Model S	elektryczny	lithium-ion 70 lub 90 kWh	pokładowe: 110 V / 12 A / 1,4 kW 240 V / 24 A / 7,6 kW	64 godz. 12 godz.	120 kW, 40 min (Supercharger)	51,0
2	Nissan Leaf SV	elektryczny	lithium-ion 30 kWh	pokładowe: 240 V / 14 A / 3,3 kW 240 V / 28 A / 6,6 kW	9 godz. 4,5 godz.	50 kW, 30 min (Quick EV Charger, CHAdeMO)	50,0
3	BYD Tang	hybrydowy typu plug-in	lithium-ion 18,4 kWh	pokładowa: 220 V / 15 A / 3,3 kW zewnętrzna: 220 V / 32 A / 7,0 kW	5,5 godz. 2,5 godz.	40 kW, 22 min (AC Charging EVA040K)	31,5
4	Chevrolet Volt	elektryczny z doładowaniem spalinowym	lithium-ion 18,4 kWh	pokładowa: 120 V / 12 A / 1,4 kW zewnętrzna: 240 V / 17 A / 4,0 kW	13 godz. 4,5 godz.	brak danych	28,5
5	Mitsubishi Outlander	hybrydowy typu plug-in	lithium-ion 12 kWh	pokładowe: 240 V / 10 A / 2,4 kW 240 V / 16 A / 3,9 kW	5 godz. 3 godz.	125 A, 25 min (CHAdeMO)	28,0

Przewodowe ładowarki samochodowe wymagają ingerencji użytkownika, która w niektórych przypadkach może być kłopotliwa (np. oblodzenie pojazdu) oraz stwarza ryzyko pomyłki użytkownika, które może spowodować porażenie prądem elektrycznym. Dlatego też prowadzi się badania nad bezprzewodowym ładowaniem samochodów. Póki co najbardziej obiecujące wydaje się być łado-

wanie przy wykorzystaniu zjawiska indukcji elektromagnetycznej. Polega to na zastosowaniu dwóch cewek, jednej w pojeździe, a drugiej w miejscu postojowym. Po odpowiednim umieszczeniu cewek wobec siebie następuje sprzężenie magnetyczne oraz transfer energii z jednej cewki do drugiej. Żeby zwiększyć wydajność tego rozwiązania można użyć cewek o większej liczbie zwojów lecz ograniczeniem tego jest rozmiar podwozia pojazdu. Dlatego stosuje się w tym celu zwiększanie częstotliwości. Obecne układy tranzystorowe pozwalają na uzyskanie częstotliwości na poziomie 50kHz.

Poza oczywistą wygodą użytkowania takie rozwiązanie jest bardziej odporne na celowe przerwanie ładowania przez osoby trzecie oraz jest minimalizuje się szansę na uszkodzenie ładowarki na skutek aktu wandalizmu.

Mimo szeregu zalet ładowarek bezprzewodowych nadal jest to rozwiązanie najwolniejsze ze względu na duże straty energii elektrycznej potrzebnej na magnesowanie rdzenia.



Rys. 1. Schemat ładowania bezprzewodowego [2]

Powyższe zestawienie ukazuje, że największy nacisk w opracowywaniu ładowarek do samochodów elektrycznych kładzie się na szybkość. Wraz ze wzrostem szybkości wzrasta zapotrzebowanie na energię elektryczną. Urządzenie do ładowania musi spełniać szereg dodatkowych wymagań takich jak bezpieczeństwo użytkowania oraz sprawność elektryczną co pociąga za sobą stosowanie co raz bardziej skomplikowanych konstrukcji [4].

ZAKŁÓCENIA POWODOWANE PRZEZ STACJE ŁADOWANIA SAMOCHODÓW

Co raz większa liczba punktów ładowania samochodów elektrycznych oraz udoskonalanie ich właściwości stawia co raz większe wymagania wobec systemu elektroenergetycznego.

Podstawą układu ładowania jest pośrednie przetwarzanie sygnału AC/DC oraz DC/AC. Elementami, które można spotkać w niemal każdej ładowarce są przekształtniki energoelektroniczne, transformatory wysokiej częstotliwości, zestawy prostownicze oraz odpowiednie filtry. Poszczególne elementy systemu

ładowania wprowadzają do sieci zakłócenia, które powodują zakłócenia w sieci takie jak [3]:

- Odchylenia napięcia
- Wahania napięcia
- Asymetria napięcia
- Powstawanie wyższych harmonicznych prądu i napięcia.

Odchylenie napięcie jest następstwem zmiany obciążenia systemu. Najmocniejsze ładowarki poziomu trzeciego mają deklarowaną moc na poziomie 50kW, co w przypadku jednej ładowarki nie powinno stanowić wyzwania dla dobrze zaprojektowanej lokalnej sieci elektroenergetycznej aczkolwiek stacje ładowania zwykle są wyposażone w wiele stanowisk do jednoczesnego ładowania pojazdów. Wówczas w lokalnej sieci może to powodować znaczne odchylenia napięcia, a nawet znane są przypadki przeciążenia sieci skutkujące brakiem zasilania w okolicznych miejscowościach.

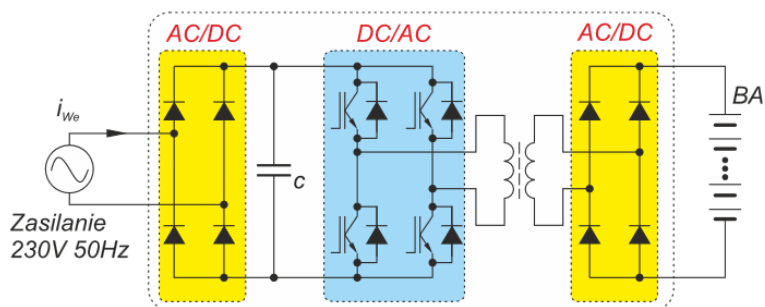
Wahania napięcia również są następstwem zmiany obciążenia systemu. Na skutek naprzemiennego załączania oraz rozłączania urządzeń ładowania pojazdu dochodzi do skoków napięć u lokalnych odbiorców co może skutkować uszkodzeniem wrażliwych urządzeń elektronicznych. Ponadto powoduje to niekorzystne zjawisko migotania światła.

Asymetria napięcia powstaje, gdy fazy systemu elektroenergetycznego nie są równomiernie obciążone. Zwykle udaje się uniknąć tego zjawiska, gdyż falowniki dużej mocy są urządzeniami zasilanymi trójfazowo. Należy spodziewać się tego zjawiska przy ładowarkach niższych poziomów, które mogą być zasilane jednofazowo.

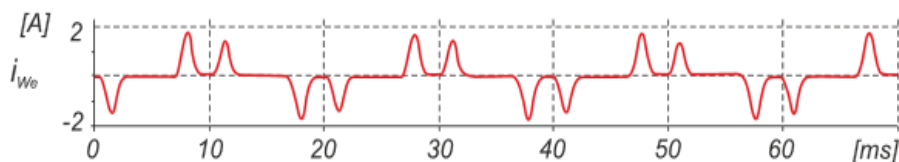
Największym problemem wydają się być harmoniczne prądu oraz napięcia. Definiuje się jako napięcie sinusoidalne o częstotliwości będącej krotnością częstotliwości napięcia zasilania, czyli po prostu odkształcenie od bazowej częstotliwości napięcia zasilania. Jest to niepożądane zjawisko ponieważ przepływające harmoniczne przez urządzenia powodują na nich dodatkowe straty mocy, czyli spadek współczynnika mocy $\text{tg}\alpha$.

Dzieje się tak na skutek istnienia w sieci odbiorników nieliniowych, którymi są między innymi urządzenia energoelektroniczne instalowane w ładowarkach samochodowych. [3]

Zastosowanie przekształtników energoelektronicznych powoduje znaczne odkształcenie napięcia zasilającego. Zwiększanie ilości układów podobnych do tych z Rys. 2. może powodować przekroczenie norm związanych z ilością harmonicznych w sieci zasilającej [2].



Rys. 2. Struktura przekształtników energoelektronicznych w typowej ładowarce samochodowej [2]



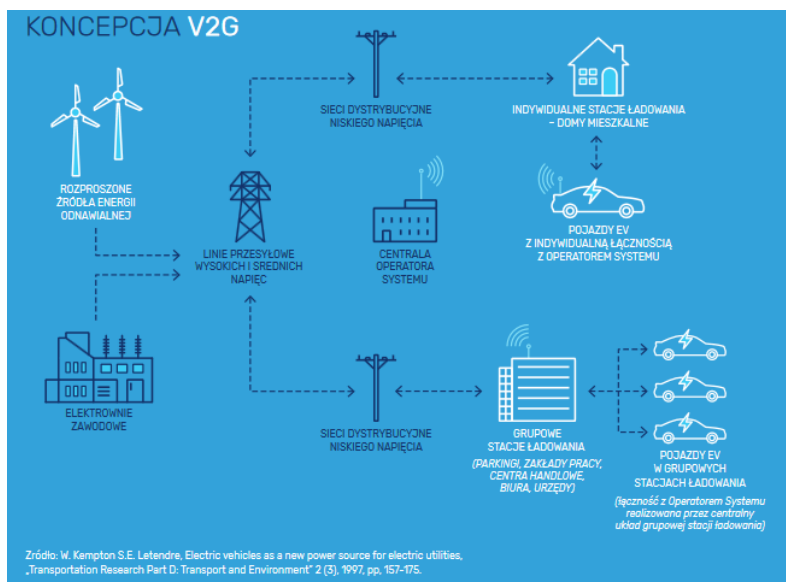
Rys. 3. Prąd wejścia ładowarki samochodów EV oraz PHEV [2]

Przebieg prądu z Rys. 3. Jest typowym przebiegiem prądu dla ładowarki wyposażonej w sterownię prostownikiem diodowym. Załączony wykres znacznie odbiega od dopuszczalnych norm. Rozwiązaniem, które zapewni odpowiedni poziom współczynnika mocy ($\text{tg}\alpha=0,4$) jest stosowanie przekształtników tranzystorowych oraz filtracja przebiegu.

W tym celu stosuje się tranzystory szerokoprzerwowe wykonanych z azotku galu (GaN) czy węgla krzemowego (SiC). [1] Pozwala to na uzyskanie wysokiej częstotliwości przełączeń z zachowaniem wysokiej sprawności układu, z kolei zastosowanie wysokiej częstotliwości przełączeń pozwala na miniaturyzację elementów pasywnych. Ponadto wykorzystanie tej technologii pozwoliło naukowcom na zbudowanie ładowarki dwukierunkowej V2G – vehicle to grid.

TECHNOLOGIA V2G

Technologia V2G pozwala na dwukierunkowe wykorzystanie ładowarki do pojazdów elektrycznych. Współpraca samochodu z siecią elektroenergetyczną pozwala na wykorzystanie pojazdów jako magazynów energii. Popularyzacja samochodów EV oraz PHEV powoduje co raz większe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Dzięki technologii V2G samochód, który aktualnie nie jest użytkowany może oddawać część swojej energii do sieci. Pozwala to na zwiększenie elastyczności systemu elektroenergetycznego, który w ostatnich latach w Polsce, podczas szczytów zimowych i letnich wykazuje się raczej niską sprawnością [5].



Rys. 4. Schemat systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem technologii V2G [5]

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono sposoby ładowania samochodów elektrycznych oraz problemy z tym związane widziane od strony systemu elektroenergetycznego. Okazuje się, że wszystkie dostępne systemy ładowania pojazdów generują szereg problemów. Jednakże na rynku dostępne są rozwiązania, które pozwalają zwiększyć sprawność układów ładowania w samym źródle problemów bez potrzeby stosowania urządzeń zewnętrznych.

Obserwuje się ciągły rozwój technologii ładowania, które obiecują zachowanie wysokiej sprawności oraz co raz wyższe moce urządzeń.

LITERATURA

- [1] Czyż P., Cichowski A., Przegląd systemów ładowania elektrycznych osobowych pojazdów i koncepcja dwukierunkowej ładowarki pokładowej, XXVII Seminarium „Zastosowanie komputerów w nauce i technice 2017”, Oddział Gdański PTETiS
- [2] Guziński J., Adamowicz M., Kamiński J., „Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych, część 2.”, Politechnika Gdańska
- [3] PN-EN 50160:2008 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych
- [4] Ministerstwo Energii, Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości”
- [5] Raport „Pojazdy elektryczne jako element sieci elektroenergetycznych” PSPA, Warszawa 2018

PROJEKT PRZETWORNICY NAPIĘCIA DC/DC. UKŁAD OBNIŻAJĄCY I PODWYŻSZAJĄCY NAPIĘCIE

WSTĘP

Przetwornica napięcia DC/DC wchodzi w skład zasilaczy impulsowych napięcia stałego. Urządzenie służy do zamiany energii elektrycznej o parametrach wejściowych na energię elektryczną zasilającą odbiornik o odpowiednio sprecyzowanych parametrach wyjściowych napięcia stałego.

Zasilacze impulsowe porównując do konwencjonalnych zasilaczy liniowych wyróżniają się wieloma zaletami. Zapewniają wysoką sprawnością energetyczną przy stosunkowo niewielkich gabarytach, masie własnej i mniejszych stratach cieplnych. Urządzenia te są relatywnie tańsze w budowie od zasilaczy liniowych. Wyróżniają się również skomplikowaną budową oraz generowaniem zakłóceń związanych z pracą przełączeniową elementów nieliniowych.

Obecnie przetwornice impulsowe wykorzystują się do zasilania większości urządzeń elektronicznych codziennego użytku, takich jak: drukarki, komputery, smartfony, telewizory, systemy audio, oświetlenie z diodami LED itp..

Z uwagi na ciągle rozwijającą się technologię dąży się do budowy coraz mniejszych przetwornic impulsowych z zachowaniem takiej samej lub wyższej mocy oraz sprawności energetycznej.

PRZETWORNICA TRANZYSTOROWA

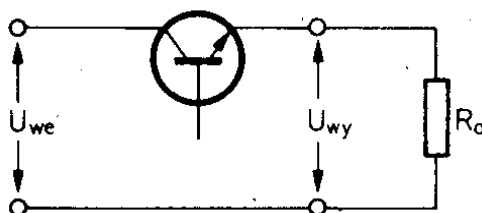
W niniejszym artykule zaprezentowano projekt przetwornicy napięcia stałego wykorzystującej tranzystorowy element przełączający służący do sterowania układem przekazywania energii zasilającym dany odbiornik.

Układ przekazywania energii stanowi kluczową rolę w budowie zasilacza impulsowego. Zadaniem układu jest kontrolowany przepływ energii elektrycznej pomiędzy wejściem a wyjściem przetwornicy napięcia.

Układ przekazywania energii można podzielić na dwa główne bloki funkcyjne odpowiadające za dane zadania: układ impulsowego sterowania pracą przetwornicy (może być odseparowany galwanicznie na wyjściu od wejścia urządzenia) oraz układ niestabilizowanego zasilania. W przetwornicach małej mocy układ przekazywania energii stanowi rezystancyjny lub kondensatorowy obwód ładowania, a w zasilaczach średniej lub dużej mocy stosuje się indukcyjny lub transformatorowy obwód zasilania urządzeń elektrycznych.

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, mateusz.janczak@pollub.edu.pl

Najprostszym rodzajem przetwornicy napięcia stałego jest przełącznik tranzystorowy (Rys. 1). Układ przetwarza napięcie stałe na ciąg impulsów o zadanym współczynniku wypełnienia, zależnym od sposobu wysterowania tranzystora. Przetwornica tranzystorowa może realizować układ przetwarzania napięcia stałego na napięcie stałe o innej wartości. Tranzystory wykorzystane w tych układach przetwornic stanowią elementy przełączające, które działają głównie w jednym z dwóch rodzajów stanów pracy (nasycenia lub zatkania). W stanie nasycenia przez tranzystor przepływa maksymalny prąd kolektora, a podczas stanu zatkania prąd kolektora tranzystora jest prawie równy zero.



Rys. 1. Schemat przełącznika tranzystorowego [1]

Z definicji współczynnik wypełnienia impulsu jest równy:

$$\gamma = \frac{t_{on}}{T} \quad (1)$$

gdzie:

$T = t_{on} + t_{off}$ — okres przebiegu

t_{on} — czas zamknięcia przełącznika (tranzystora)

t_{off} — czas otwarcia przełącznika.

KLASYFIKACJA PRZETWORNIC TRANZYSTOROWYCH

Układy przetwornic impulsowych można podzielić ze względu na sposób sterowania na obcowzbudne i samowzbudne. Przetwornice samowzbudne mogą być realizowane jedynie w układzie przetwornicy transformatorowej (generator fali prostokątnej), układ sterowania nie jest odseparowany galwanicznie od układu przekazywania energii elektrycznej. Przetwornice obcowzbudne wyróżniają się sterowaniem, które może być realizowane przez oddzielny układ sterujący (najczęściej mikrokontroler) określający parametry sygnału podawanego na element przełączający; częstotliwość oraz stopień współczynnika wypełnienia impulsu PWM (z ang. Pulse – Width Modulation).

Układy przekształtnikowe wyposażone w sterowanie obcowzbudne zapewniają odizolowanie galwaniczne układu sterującego od głównego obwodu układu przekazywania energii elektrycznej. Zaletą tych układów jest możliwość zmiany częstotliwości z jaką pracuje układ niezależnie od konfiguracji głównego obwodu. Sygnał sterujący pracą tranzystorów przełączających może być generowany z oddzielnego układu mikrokontrolerowego. Dodatkowym atutem od-

dzielonego układu sterowania jest łatwość obsługi i możliwość zaprogramowania go pod potrzeby użytkownika. Przetwornice obcowzbudne mogą pracować w różnych konfiguracjach. W zależności od zastosowanych połączeń mogą pełnić funkcje obniżania, podwyższania napięcia, oraz odwracania biegunowości napięcia na wyjściu układu. Stosowanie impulsowej pracy układu ma na celu zwiększenie sprawności energetycznej przetwornicy. Układy oparte o sterowanie obcowzbudne są bardzo popularne z uwagi na niewielką ilość elementów wykorzystanych do budowy układu i możliwość regulacji napięcia na wyjściu.

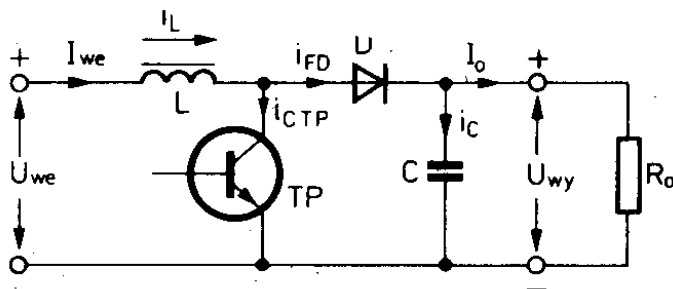
Przeciwieństwem przetwornic obcowzbudnych są przetwornice samowzbudne, w których wykorzystuje się generowanie sygnałów sterujących poprzez zastosowanie sprzężenia zwrotnego.

Podstawowe rodzaje przetwornic obcowzbudnych indukcyjnych (dławikowych):

- przetwornice obniżające napięcie, jednotaktowe (tzw. z przepływem bezpośrednim),
- przetwornice podwyższające napięcie, dwutaktowe (tzw. z przepływem wstecznym),
- przetwornice zmieniające polaryzację napięcia, dwutaktowe (tzw. z przepływem wstecznym).

UKŁAD PODWYŻSZAJĄCY NAPIĘCIE STAŁE

Przetwornica podwyższająca napięcie Rys. 2 (z ang. up converter, boost converter). W konfiguracji tego układu tranzystor został połączony równolegle z obciążeniem, a element indukcyjny szeregowo z obciążeniem (tzw. RTSI – równolegle tranzystor, szeregowo indukcyjność). Układ znajduje szerokie zastosowanie w przypadku potrzeby zasilania napięciem stabilizowanym wyższym od dostępnego napięcia wejściowego. Przetwornica jest również nazywana zaporową, gdyż energia elektryczna jest doprowadzona do wyjścia układu podczas stanu zatkania tranzystora.



Rys. 2. Przetwornica dławikowa dwutaktowa podwyższająca napięcie [1]

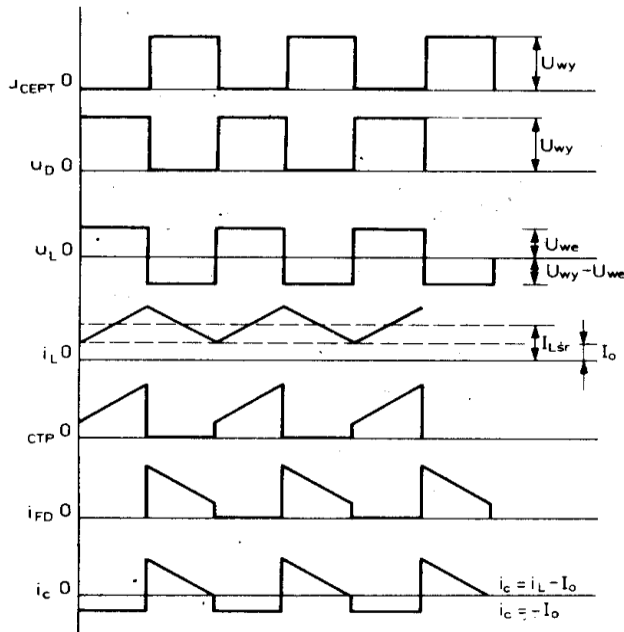
ANALIZA UKŁADU PODWYŻSZAJĄCEGO NAPIĘCIE STAŁE

Podczas stanu nasycenia tranzystora, prąd w dławiku narasta liniowo w zakresie od I_{Lmin} do I_{Lmax} . Następuje gromadzenie ładunku przez kondensator, który pokrywa zapotrzebowanie energii elektrycznej obciążenia. W czasie zatkania tranzystora dioda D zapobiega rozładowywaniu nagromadzonego ładunku w kondensatorze. Następnie prąd na elemencie indukcyjnym zaczyna się pomniejszać i spada do wartości I_{Lmin} . W efekcie dławik przekazuje nagromadzoną energię elektryczną do obciążenia układu. Podczas tego procesu (gdy tranzystor jest wyłączony) zachodzi zjawisko dodawania się napięcia zaindukowanego w dławiku do napięcia wyjściowego, przetwornica podwyższa napięcie. Sterując odpowiednio okresem włączenia tranzystora można regulować napięciem wyjściowym.

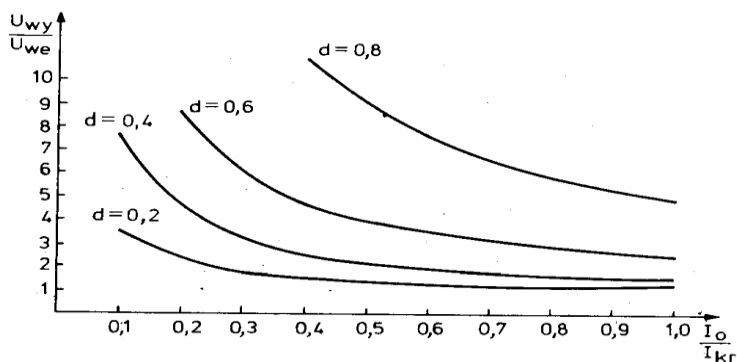
Napięcie wyjściowe, przy indukcyjności oddającej energię do wyjścia ($L > L_{min}$) można opisać następującymi zależnościami:

$$U_o = \frac{U_i}{1-\gamma} ; \text{przy } I_o > I_{lim}, \quad (2)$$

$$U_o = U_i + \frac{U_i^2 \gamma^2 T}{2LI_o} ; \text{przy } 0 \leq I_o \leq I_{lim}. \quad (3)$$



Rys. 3. Przebiegi napięć i prądów układu podwyższającego napięcie [1]

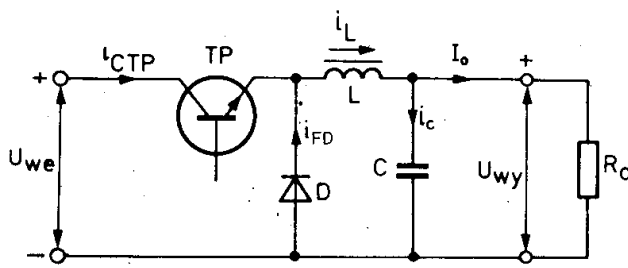


Rys. 4. Rodzina charakterystyk układu podwyższającego napięcie [1]

UKŁAD OBNIŻAJĄCY NAPIĘCIE STAŁE

Układ obniżający napięcie (Rys. 5) przekształca napięcie stałe na napięcie jednokierunkowe o regulowanej wartości średniej, mniejszej lub co najwyżej równej napięcia wejściowego (z ang. down converter, buck converter).

Rozszerzając układ przełącznika tranzystorowego (Rys. 1) o dodatkowy filtr wyjściowy otrzymuje się układ obniżający napięcie stałe, który przetwarza ciąg impulsów w napięcie stałe o wartości średniej równej wartości średniej przebiegu impulsowego. Układ ten jest powszechnie wykorzystywany w konstrukcji stabilizatorów impulsowych napięcia stałego. Układ obniżający wyróżnia szeregowe połączenie tranzystora z elementem indukcyjnym (tzw. STSI – szeregowo indukcyjność).



Rys. 5. Przetwornica dławikowa jednotaktowa obniżająca napięcie stałe [1]

ANALIZA UKŁADU OBNIŻAJĄCEGO NAPIĘCIE STAŁE

W czasie nasycenia tranzystora dławik ogranicza maksymalny prąd kolektora przepływający przez tranzystor. Kondensator połączony równolegle do wyjścia ładuje się okresowo i gromadzi się w nim energia elektromagnetyczna. W czasie zamknięcia klucza tranzystorowego (t_{on}), przyrost prądu w dławiku można opisać następującym równaniem:

$$\Delta I_{L_{on}} = \frac{U_i - U_o}{L} t_{on} = \frac{U_i - U_o}{L} \gamma T \quad (4)$$

W podanym wzorze L stanowi indukcyjność dławika a γ współczynnik wypełnienia impulsu. Podczas stanu zatkania tranzystora na elemencie indukcyjnym dochodzi do zmiany biegunowości napięcia. W efekcie zgromadzona przez dławik energia zostaje doprowadzona przez diodę D do obciążenia.

W czasie wyłączenia (t_{off}) prąd w elemencie indukcyjnym maleje według następującej zależności:

$$\Delta I_{L_{off}} = \frac{U_o}{L} - T(1 - \gamma) \quad (5)$$

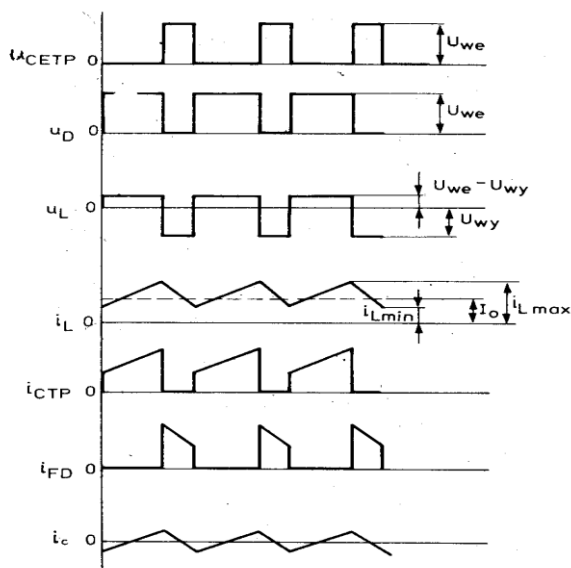
Stan równowagi dla powyższego układu zachodzi, gdy przyrost i spadek prądu dławika podczas czasu włączenia i wyłączenia są sobie równe:

$$\frac{U_i - U_o}{L} \gamma T = \frac{U_o}{L} - T(1 - \gamma) \quad (6)$$

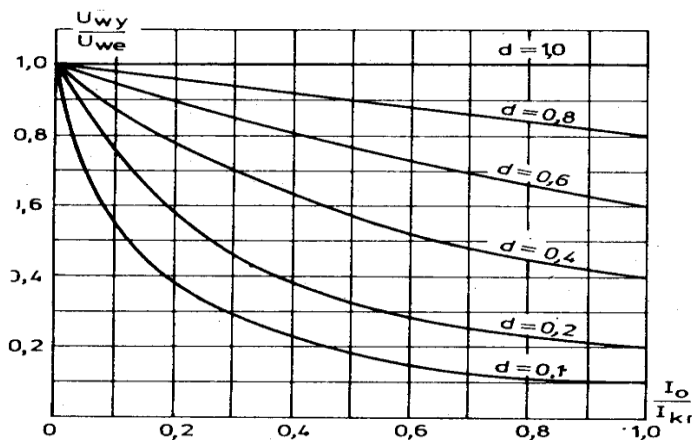
$$U_o = \gamma U_i \quad (7)$$

Na podstawie powyższych zależności można zaobserwować, że napięcie wyjściowe może być stabilizowane za pośrednictwem zmiany współczynnika wypełnienia. Z uwagi, że współczynnik wypełnienia nie może osiągnąć wartości 100%, napięcie wyjściowe będzie zawsze niższe od napięcia na wejściu układu. Zależności opisujące układ obniżający napięcie z pominięciem strat energetycznych:

$$U_o = \begin{cases} \gamma U_i; & \text{przy } I_o > I_{lim} \\ \frac{U_i}{1 + \frac{2L}{2U_i}} \cdot \frac{I_o}{T}; & \text{przy } 0 \leq I_o \leq I_{lim} \end{cases} \quad (8)$$

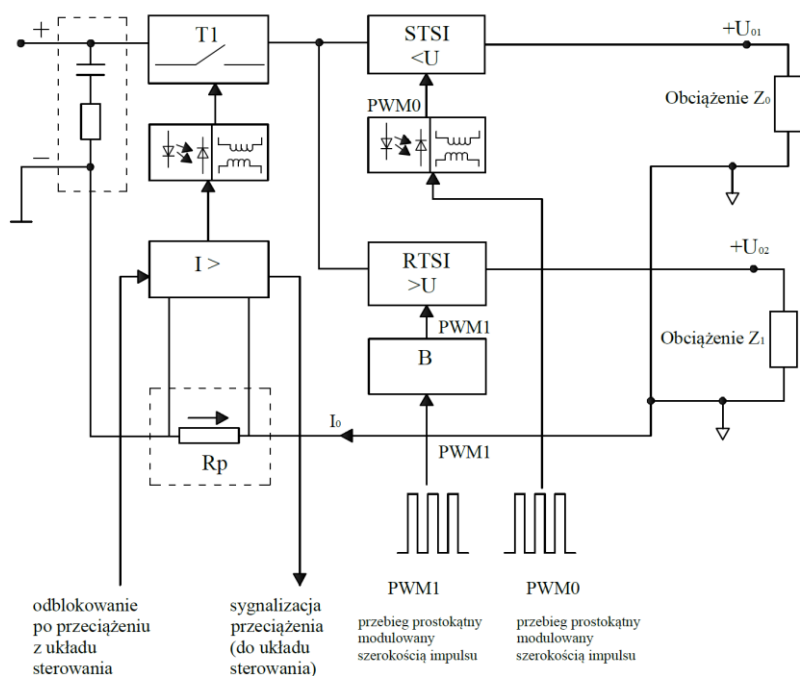


Rys. 6. Przebiegi napięć i prądów w układzie [1]



PROJEKT PRZETWORNICY NAPIĘCIA DC/DC

Układ przetwornicy impulsowej napięcia stałego został podzielony na poszczególne bloki funkcyjne odpowiedzialne za prawidłową pracę urządzenia.

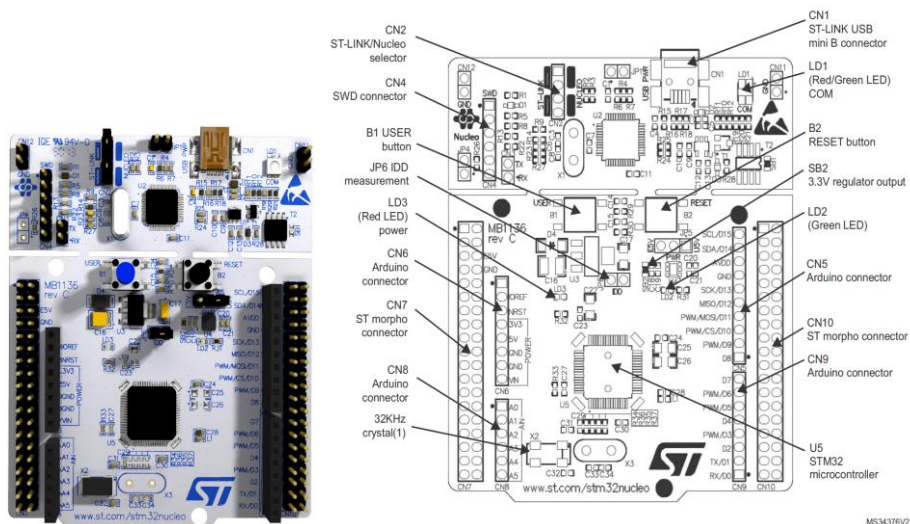


Na wejściu przetwornicy umieszczono filtr wysokiej częstotliwości RC, którego zadaniem jest ewentualna filtracja niepożądanych zakłóceń dochodzących do układu od sieci zasilającej. Tranzystor T1 z układu pracuje w funkcji łącznika, który jest zamknięty podczas stanu normalnej pracy. Podczas wyjątkowych stanów np. awarii, łącznik tranzystorowy się otwiera i następuje przerwa w obwodzie. Powyższy układ zapewnia separację galwaniczną pomiędzy wejściem sterującym a przetwarzanym napięciem wyjściowym. Elementem oddzielającym układ sterowania od układu przekazywania energii są transoptory.

Zmodulowany sygnał PWM jest podawany na wejście transoptorów z wyprowadzeń mikrokontrolera. Sygnał z transoptorów trafia na układy sterowników które wzmacniają sygnały sterujące tranzystorami przełączającymi.

Układ przetwornicy jest obciążony na wyjściu przez oddzielne odbiorniki (Obciążenie Z_o). Układy przekazywania energii posiadają wspólną masę. Rezystor bezindukcyjny (R_p) jest podłączony bocznikowo do obwodu układu nadprądowego ($I >$). Zadaniem układu nadprądowego jest kontrola wartości prądów płynących w obwodzie przekazywania energii i sterowania tranzystorem T1. Ponadto w przypadku przeciążenia układ nadprądowy generuje sygnał podawany na układ sterowania.

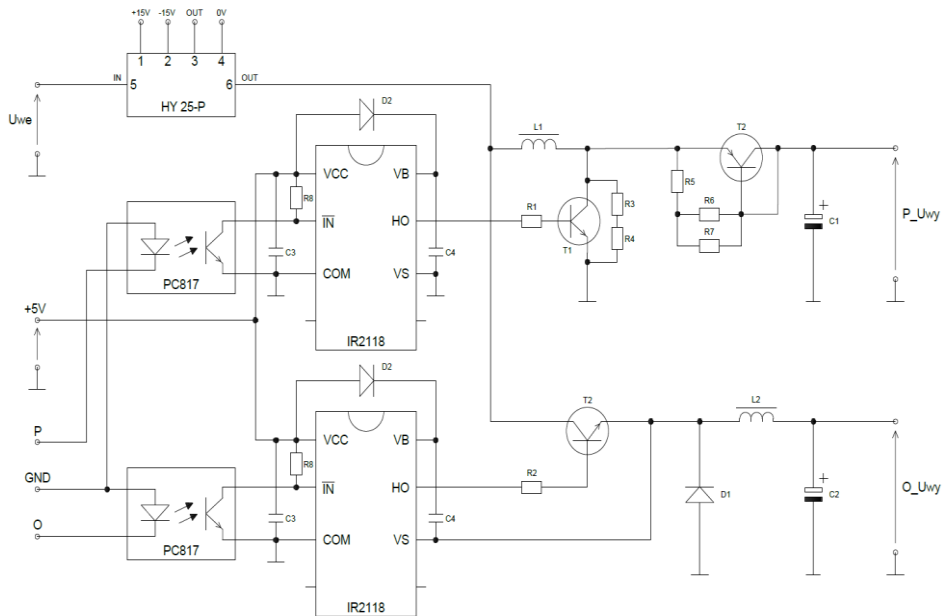
Sterownik Nucleo-64 z mikrokontrolerem STM32L053 został wykorzystany do sterowania podzespołami przetwornicy impulsowej napięcia oraz generowania przebiegów PWM.



Rys. 9. Płytko Nucleo-64 z mikrokontrolerem STM32L053R8 [10]

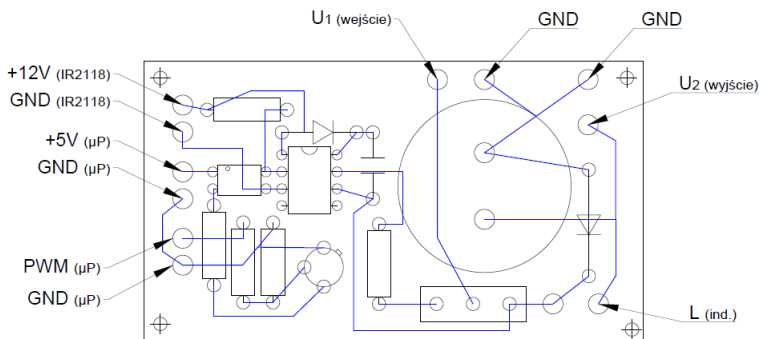
Płytko Nucleo-64 zawiera programator, przejściówkę UART – USB, mikrokontroler STM32 z zintegrowaną pamięcią i układami peryferyjnymi. Mikrokontroler STM32L053 jest układem zaprojektowanym w architekturze 32 – bitowej

przez firmę ARM (z ang. Advanced RISC Machine). Moduł mikrokontrolera został wyposażony w układ o niskim poborze mocy opartym o rdzeń Cortex-M0.

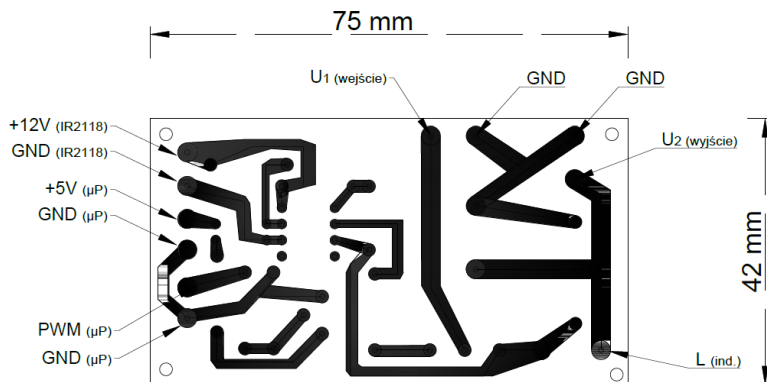


Rys. 10. Schemat ideowy przetwornicy impulsowej napięcia DC/DC [7]

Wykaz elementów: HY 25-P (przetwornik prądowy), PC817 (transoptor), IR2118 (driver), T1, T2 (tranzystor G4PC50UD), T3 – HFA25PB60, $R1=R2=42\Omega$, $R3=12\Omega$, $R4=100\Omega$, $R5=100\Omega$, $R6=12\Omega$, $R7=39\Omega$, $R8=1k\Omega$, $C1=C2=6800\mu F$, $C3=10\mu F$, $C4=4,7\mu F$.



Rys. 11. Schemat rozmieszczenia elementów na płytce PCB



Rys. 12. Projekt płytki PCB

W celu ułatwienia obsługi i zapewnienia funkcjonalności układu projekt dodatkowo zakłada wyposażenie przetwornicy w interfejs sterujący z klawiaturą numeryczną (4x4), wyświetlaczem LCD, diodami LED i przyciskiem typu switch. Klawiatura docelowo służy do zmiany aktualnych wartości współczynnika wypełnienia impulsu oraz częstotliwości przebiegu prostokątnego podawanego na sterownik STM32. Wyświetlacz LCD informuje użytkownika o aktualnych parametrach pracy układu. Dioda LED1 – zielona sygnalizuje, że urządzenie jest włączone i gotowe do pracy. Dioda LED2 – czerwona informuje użytkownika o przeciążeniu układu. Przycisk Switch oznacza reset układu do warunków początkowych.

ALGORYTM PROGRAMU STEROWNIKA STM32

Urządzenie włączone – dioda LED1 sygnalizuje o gotowości do pracy. Wybór układu do pracy: układ obniżający lub podwyższający.

Informacja na wyświetlaczu.

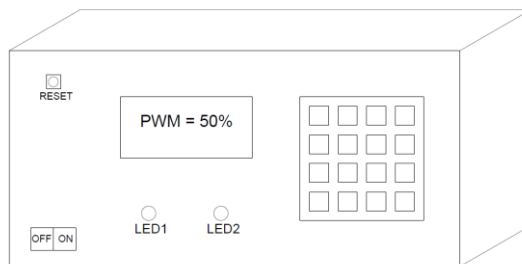
Zdefiniowane parametry początkowe: $f = 50\text{Hz}$; PWM = 5%.

Możliwość zmiany ustawień częstotliwości przebiegu sygnału. Wyświetlacz informuje o wartości częstotliwości „f”, którą można zmieniać w zakresie od 1 kHz do 10 kHz. Wybór należy zaakceptować przyciskiem z klawiatury.

Zmiana wartości współczynnika wypełnienia impulsu, możliwość płynnej regulacji PWM w zakresie od 5% do 95%.

Podczas pracy wyświetlacz LCD informuje o aktualnych parametrach współczynnika wypełnienia PWM i prądu płynącego do odbiornika I_o .

Jeżeli dojdzie do stanu przeciążenia układu, na ekranie wyświetla się informacja „Uwaga przeciążenie układu”, dioda LED2 sygnalizuje przeciążenie. W tej sytuacji należy znaleźć przyczynę awarii, a następnie nacisnąć przycisk switch reset. Układ powraca do ustawień domyślnych.



Rys. 13. Wizualizacja obudowy przetwornicy napięcia DC/DC

PODSUMOWANIE

Celem niniejszego artykułu była przykładowa realizacja przetwornicy impulsowej DC/DC z wykorzystaniem układu podwyższającego i obniżającego napięcie. Ze względu na ciągły rozwój energoelektroniki projektuje się przetwornice z zastosowaniem większej sprawności energetycznej oraz mocy układu przy stosunkowo mniejszych gabarytach. Przetwornice impulsowe z wykorzystaniem mikrokontrolera znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle energoelektronicznym. Większość zasilaczy impulsowych z układem obniżającym napięcie jest produkowanych jako ładowarki urządzeń elektronicznych z bateriami litowo – jonowymi. Przetwornice z układem podwyższającym napięcie są natomiast wykorzystywane w miejscach, gdzie wymagane jest większe napięcie pracy odbiornika od źródłowego napięcia zasilającego.

LITERATURA

- [1] Borkowski A.: Zasilanie urządzeń elektronicznych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990
- [2] Paprocki K.: Mikrokontrolery STM32 w praktyce, BTC, Warszawa 2009
- [3] Carr J.J.: Zasilacze urządzeń elektronicznych, BTC, Warszawa 2004
- [4] Nowak M., Barlik R.: Poradnik inżyniera energoelektronika, WNT, Warszawa 1998
- [5] Janke W., Bączek M.: Szacowanie strat mocy w impulsowej przetwornicy obniżającej napięcie, „Przegląd elektrotechniczny”, 10/2015, 237–240
- [6] Bryndza L.: Programowo – sprzętowo przetwornice step – up w przykładach, „Elektronika praktyczna”, 7/2012, 92–97
- [7] Janczak M., Stanowisko do badania układów przetwornic DC/DC, praca inżynierska, Politechnika Lubelska 2019
- [8] Górecki P.: Przetwornice impulsowe, Podstawowe konfiguracje – przetwornica zaporowa, „Elektronika dla wszystkich”, 6/1999, 41–43
- [9] Górecki P., Przetwornice indukcyjne, Elektronika dla wszystkich, 6/2018, s. 26–29
- [10] Dokumentacja techniczna sterownika STM32 firmy ST, Nucleo-L053R8, https://www.st.com/content/st_com/en/products/evaluation-tools/product-evaluation-tools/mcu-mpu-eval-tools/stm32-mcu-mpu-eval-tools/stm32-nucleo-boards/nucleo-l053r8.html, zasoby z dnia 25.05.2020

MODEL UKŁADU PRZEKSZTAŁTNIKÓW O KOMUTACJI WYMUSZONEJ

WSTĘP

Nowoczesne systemy elektroniczne wymagają wysokiej jakości, małych, lekkich, niezawodnych i wydajnych zasilaczy. Liniowe regulatory mocy, których zasada działania opiera się na dzielniku napięcia lub prądu, są nieefektywne, ponieważ ograniczają się one do napięć wyjściowych mniejszych niż napięcie wejściowe. W dodatku ich moc jest niska, gdyż wymagają one transformatorów i filtrów o niskiej częstotliwości (50 lub 60Hz). Liniowe regulatory mogą jednak zapewniać bardzo wysokiej jakości napięcie wyjściowe, a ich głównym obszarem zastosowania jest niski poziom mocy.

Układy przekształtników o komutacji wymuszonej wykorzystują elektroniczne i energoelektroniczne przełączniki półprzewodnikowe pracujące w stanach włączania i wyłączania. W tych stanach występuje niewielka utrata mocy, (niskie napięcie na przełączniku w stanie włączonym, prąd zerowy płynący przez przełącznik w stanie wyłączonym), a regulatory przełączające mogą osiągnąć wysoką wydajność konwersji energii. Nowoczesne przełączniki energoelektroniczne mogą działać przy wysokich częstotliwościach. Im wyższa częstotliwość robocza, tym mniejsze i lżejsze transformatory, filtrujące cewki i kondensatory.

PRZEKSZTAŁTNIKI O KOMUTACJI WYMUSZONEJ

Komutacja w postaci ogólnej jest to zjawisko przełączania obwodu elektrycznego. W rozumieniu energoelektronicznym komutacja polega na przejmowaniu przewodzenia prądu odbiornika pomiędzy kolejnymi (w cyklu) kluczami półprzewodnikowymi. W procesie komutacji mogą uczestniczyć klucze (zawory) dwóch lub większej liczby kolejnych faz. W przypadku, gdy komutacja obejmuje dwa kolejne klucze, wówczas nazywana jest komutacją pojedynczą lub prostą. Jeżeli w procesie komutacji uczestniczą jednocześnie klucze trzech lub większej liczby faz, to komutacja taka nazywana jest komutacją wielokrotną lub złożoną.

Przekształtnikami nazywane są urządzenia energoelektroniczne, które w bezpośrednim stopniu przekształcają czasowe przebiegi prądu elektrycznego. W ogólnym rozumieniu przekształtnik energoelektroniczny można określić jako układ transmitujący energię elektryczną pomiędzy dwoma obwodami o różnych częstotliwościach, a także różniących się wartościami napięć i prądów.

¹Politechnika Lubelska, WEiI, mateusz.wojciechowski@pollub.edu.pl

Przekształtnik o komutacji wymuszonej jest to odmiana przetwornicy napięcia stałego (DC/DC) umożliwiający zmianę zarówno wartości średniej czy skutecznej prądu wyjściowego ale również zmianę kierunku jego przepływu (co czasem można określić jako konwersję DC do AC).

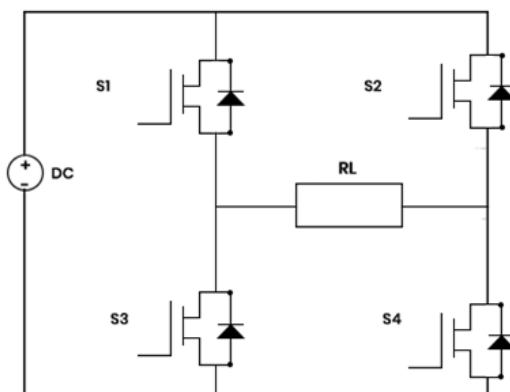
Głównymi miejscami zastosowania przekształtników o komutacji wymuszonej są aktualnie:

- zasilacze impulsowe prądu stałego,
- napędy z silnikami prądu stałego.

Konwertery DC-DC są szeroko stosowane do sterowania silnikami trakcyjnymi w samochodach elektronicznych, wózkach jezdnych, podnośnikach morskich, wózkach widłowych i wózkach górniczych. Zapewniają płynną kontrolę przyspieszenia, wysoką wydajność i szybką reakcję dynamiczną. Przetwornice tego rodzaju mogą być również wykorzystywane do hamowania regeneracyjnego silników prądu stałego w celu powrotu energii z powrotem do sieci, co prowadzi do oszczędności energii w systemach transportowych z częstymi zatrzymaniami. Przetwornice prądu stałego są stosowane w regulatorach napięcia DC, gdzie w połączeniu z cewką indukcyjną tworzą źródła prądu stałego.[1-2]

Zaletami przekształtników z modulacją PWM są: niska liczba komponentów, wysoka wydajność, praca ze stałą częstotliwością, względnie prosta kontrola i komercyjna dostępność sterowników układów scalonych oraz możliwość uzyskania wysokich współczynników konwersji zarówno w zastosowaniach jako układ podwyższający jak i obniżający napięcie (step-up i step-down).

Główną wadą przekształtników PWM jest to, że prostokątne przebiegi napięcia i prądu PWN powodują straty włączania i wyłączania w elementach półprzewodnikowych urządzenia. Straty te ograniczają praktyczne częstotliwości pracy do setek kiloherców.



Rys.1. Ideowy schemat przekształtnika z modulacją PWM

Podstawowy ideowy schemat układu przekształtnika z modulacją PWM przedstawiony został na rysunku 1. Układ składa się ze źródła zasilania i komponentów kluczujących ułożonych w formie mostka.

Układ w powyższej konfiguracji może pracować w różnych wariantach. Podstawowym wariantem jest użycie jednego z dolnych kluczy (S3 lub S4) jako elementu modulującego prąd płynący przez obciążenie RL. Przeciwny element mostka (S2 dla S3 lub S1 dla S4) powinien pozostawać w stanie włączenia w sposób ciągły.

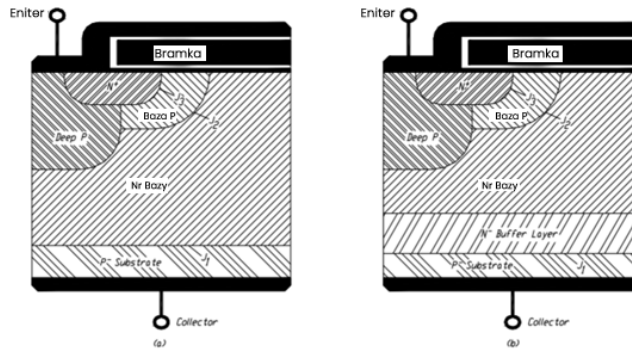
Obsługa programowa mostka (w literaturze zwanego jako H) jest prosta. IGBT działa jak przełącznik (gdy sygnał jest przyłożony do bramy, włącza się i wyłącza, gdy sygnał jest usuwany). Poprzez zamknięcie S1 i S4, dodatnie zasilanie prądem stałym jest przyłożone do obciążenia. S3 i S2 spowodują ujemne zasilanie prądem stałym w całym obciążeniu. Obwody sterujące służą do generowania sygnałów bramek niezbędnych do wytworzenia wymaganego kształtu fali PWM.

Aby uniknąć zwarcia (np. zamykanie zarówno S1 jak i S3 w tym samym czasie) przy zmianie biegunowości konieczne jest wyłączenie jednego zestawu IGBT przed włączeniem następnego. W okresie przejściowym wszystkie IGBT są wyłączone. Diody zapewniają niezbędną ścieżkę dla prądu spowodowanego indukcyjnością obciążenia w celu ograniczenia wzrostu napięcia potencjalnego w okresie przejściowym. Kondensator zapewnia wygładzenie w celu wyrównania wszelkich zmian w zasilaniu prądem stałym.[3]

BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA TRANZYSTORA IGBT

Tranzystory z izolowaną bramką mają monolityczną, stworzoną w technice scalonej na pojedynczej pastylce krzemu, kombinację tranzystora bipolarnego i polowego. Sygnały sterujące są dostarczane do bramki tranzystora MOS, natomiast warstwa bipolarna przewodzi prąd obciążenia. Elementy te, poza określeniem IGBT (Insulated-GateBipolarTransistors) są również znane pod innymi nazwami: GEMFET, COMFET, IBT, MOSFET lub bipolarny MOS. W schemacie obrazującym strukturę tranzystora IGBT można wyszczególnić tranzystor ze złączami J1 i J2 (p-n-p), który steruje prądem wyjściowym, a jego baza jest połączona z drenem wejściowym tranzystora polowego, a także tranzystora "pasożytniczego" n-p-n, którego baza jest połączona z rezystancją zastępczą warstwy p emitera.

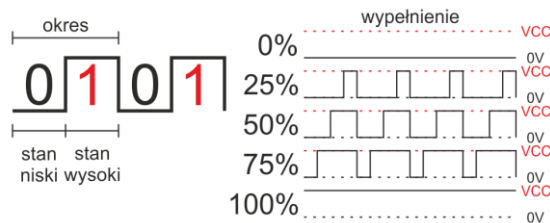
Warstwa zaporowa n⁺ między drenem p⁺ i warstwą n- nie jest wymagana do działania elementu, a niektóre rodzaje tranzystorów IGBT nie posiadają jej. Jednak przy właściwym domieszkowaniu i dobrze dobranej grubości poprawia właściwości tranzystora, gdyż powoduje pomniejszenie spadku napięcia w momencie przewodzenia oraz zwiększa odporność komponentu na napięcia wsteczne.



Rys. 2. Struktura (a) NPT-IGBT i (b) PT-IGBT [4]

MODULACJA SZEROKOŚCI IMPULSÓW (PWM)

Modulacja PWM (ang. PulseWidthModulation) to inaczej modulacja szerokości impulsów. Ideą tej modulacji jest zmiana długości czasu trwania impulsu sterującego przy nieziennej częstotliwości nośnej. Parametrem zmiennym jest więc współczynnik wypełnienia. Modulacja PWM wykorzystywana jest najczęściej do sterowania elementów takich jak tranzystory (IGBT) lub tyrystory.



Rys. 3. Przebiegi PWM o różnym współczynniku wypełnienia [5]

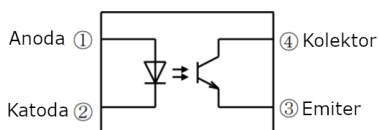
Modulacja PWM pozwala na szybkie i dokładne operowanie stanami przewodności podzespołów elektronicznych. Używana jest również w układach przekształtnikowych do wymuszenia komutacji. Najczęstsze zastosowanie znajduje w zasilaczach impulsowych oraz w układach sterujących napędem elektrycznym.

Analogowy sygnał wejściowy jest porównywany z daną falą nośną ze stałą częstotliwością w celu oceny amplitudy analogowej w dziedzinie czasu. Wyjście generatora jest liniową krzywą falą podobną do fali piłokształtnej. Układ w realizacji jest prosty i wymaga mało komponentów. Niestety wadą jest wyższa czułość w funkcji temperatury, zmienności procesu, szumu itp. W celu wyeliminowania tych wad, dobrym wyborem jest zastosowanie technik cyfrowych do modulowania szerokości impulsu. Przykład cyfrowej architektury generatora PWM pokazano na rys. 3. Przebiegi wyjściowe z kwantyzatora czasu mają róż-

nicę opóźnienia czasowego. Określony przedział czasowy jest wybierany do resetowania wyjścia przerzutnika SR. W zależności od nastawy kwantyzatora uzyskuje się pożądaną szerokość impulsu. Modulacja cyfrowa charakteryzuje się niskim kosztem i niską czułością na zmienność procesu.

IZOLACJA GALWANICZNA

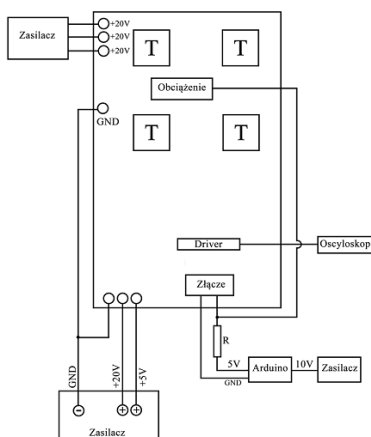
Ze względu na możliwe zakłócenia spowodowane przełączaniem dużych prądów i napięć w obwodzie wyjściowym przekształtnika stosuje się separację galwaniczną odizolowującą układ sterowania od części mocy. W proponowanym rozwiązaniu rolę izolatora będzie pełnił transoptor. Transoptor jest to optoelektroniczny element półprzewodnikowy, który zawiera w sobie fotoemiter (najczęściej diodę elektroluminescencyjną) oraz fotodetektor (fototranzystor lub fotodiodę) zamknięte we wspólnej obudowie. Najważniejszą funkcją transoptora jest galwaniczne oddzielenie nisko- i wysokonapięciowych elementów układu. Jest on chroniony przed możliwym zagrożeniem wynikającym z prądów przejściowych, które mogłyby uszkodzić komponenty.



Rys.4. Schemat budowy transoptora [6]

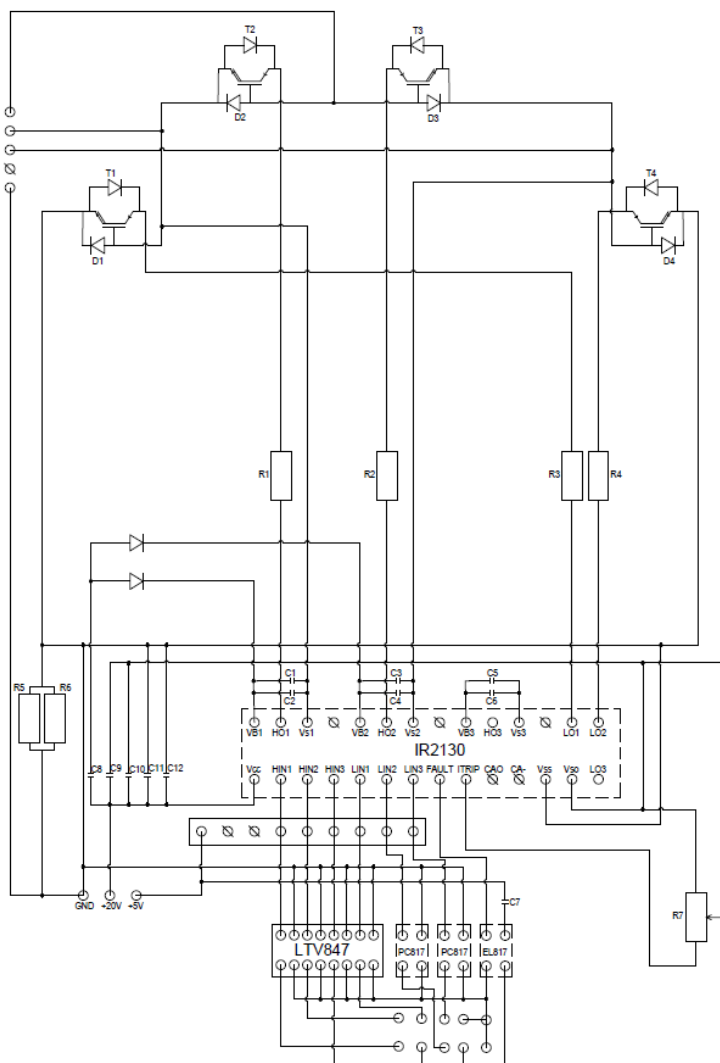
PROJEKT UKŁADU PRZEKSZTAŁNIKA Z WYMUSZONĄ KOMUTACJĄ

Zgodnie z rozważaniami z poprzedniego rozdziału zaproponowany został schemat blokowy przekształtnika z wymuszoną komutacją (Rys.5).



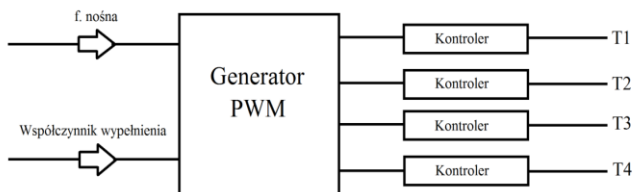
Rys.5. Schemat blokowy przekształtnika z wymuszoną komutacją [7]

Schemat ideowy przekształtnika zaprezentowany został na rysunku 6.



Rys.6. Schemat elektroniczny układu przekształtnika [7]

Kod sterowania przekształtnikiem składa się z dwóch części. Pierwszą częścią jest kod obsługi (wprowadzania) danych wejściowych tj, częstotliwości nośnej PWM i współczynnika wypełnienia k . Drugą część stanowi generator sekwencji PWM sterowania kluczy. Program wgrany zostanie do modułu sterowania Arduino, a następnie przeprowadzone zostaną wstępne testy poprawności pracy zaprojektowanego przekształtnika.

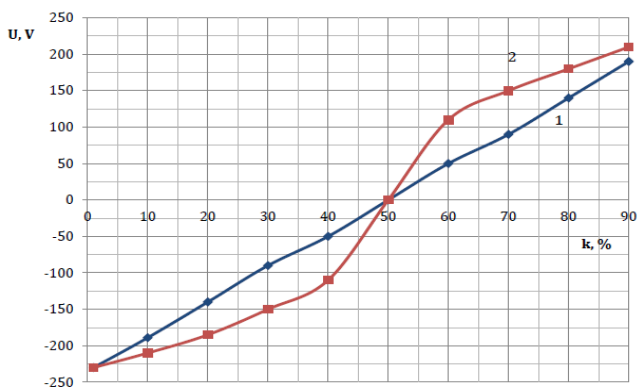


Rys. 7. Algorytm sterowania- schemat blokowy[7]

Pomiary przekształtnika zostały wykonane poprzez regulację współczynnika sterowania k oraz dla dwóch częstotliwości nośnych sygnału PWM tj. 112 Hz i 1800 Hz. Wyniki pomiarów zostały zebrane w odpowiednich tabelach i wykreślone w postaci charakterystyk. Poniżej zostały przedstawione wyniki.

Tab. 1. Pomiary dla pracy jednokwadrantowej przy obciążeniu $R=810\Omega$, $L=0H$, $f=112Hz$

Pomiary dla obciążenia $R=810\Omega$, $L=0H$, $f=112Hz$			
Lp	k	U _{śr}	U _{sk}
	%	V	V
1	1	-230	-230
2	10	-189	-210
3	20	-140	-185
4	30	-90	-150
5	40	-50	-110
6	50	0	0
7	60	50	110
8	70	90	150
9	80	140	180
10	90	190	210



Rys. 8. Zależność wartości napięcia skutecznego (1) i średniego (2) od współczynnika wypełnienia (dla obciążenia $R=810\Omega$, $L=0H$, $f=112Hz$) [7]

PODSUMOWANIE

Analiza otrzymanych w trakcie badań wyników pozwala wysnuć następujące wnioski:

- Charakter odbioru (R lub RL) wpływa znacząco na wartość zarówno napięcia skutecznego jak i średniego dla obu konfiguracji przekształtnika. Należy zaznaczyć, że istotny wpływ na amplitudę prądu odbiornika ma indukcyjność powodująca wzrost elektromagnetycznej stałej czasowej odbiornika. Nie wpływa ona jednak na napięcie odbiornika.
- Zauważalna jest znaczna różnica w wartości napięcia skutecznego i średniego dla obu obciążeń i konfiguracji przekształtnika w odniesieniu do częstotliwości impulsowej.
- Wraz ze wzrostem współczynnika wysterowania wzrasta wartość skuteczna i średnia napięcia na obciążeniu. Wzrost ten odbywa się w sposób liniowy co pozwala na płynną regulację wartości skutecznej napięcia, a dalej wartości skutecznej prądu.
- Układ dla pracy dwu kwadrantowej umożliwia zmianę kierunku przepływu prądu. Dzięki temu można w prosty sposób zmieniać np. kierunek wirowania silników prądu stałego, jak również regulować ich prędkość kątową (za pomocą PWM).

LITERATURA

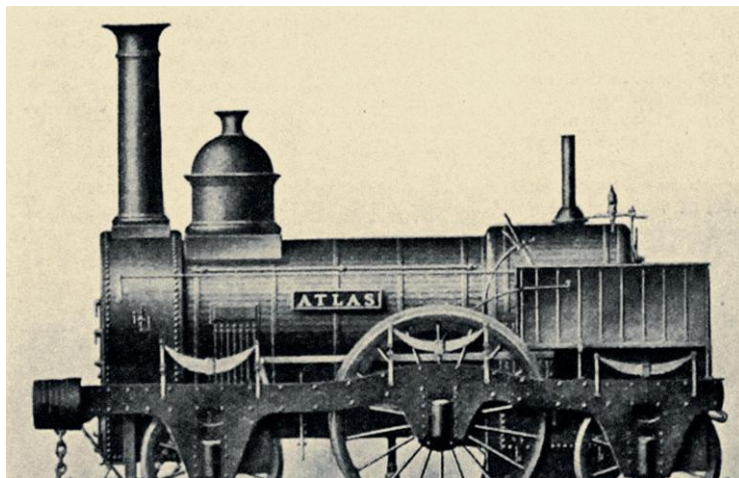
- [1] Saleemi F. M., Analysis and design of multiphase Multi interleave DC-DC converter with input-output bypass capacitor. California Polytechnic State University, 2008
- [2] Kuta S., Elementy i układy elektroniczne. Cz.1. Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 2000
- [3] Aisber E., Tranzystor: ależ to bardzoprosty. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1995
- [4] Kaźmierkowski M.P., Matysik J.T., Podstawy elektroniki i energoelektroniki. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1983
- [5] <https://bezel.com.pl/2018/08/01/ukladyenergoelektroniczne/?fbclid=IwAR0KR3CB4JGUMBmOdJf8RdUw19d7b11FTkJ3C4mx7M>; zasoby z 16.11.2018
- [6] Prałat A.:Laboratorium układów elektronicznych. Oficyna Wydawnicza PWr, 2001
- [7] Wojciechowski M., Wróblewski Ł., Model układu przekształtników o komutacji wymuszonej, 2019

LINIA POTRZEB NIETRAKCYJNYCH W KOLEJNICTWIE

WSTĘP

Drogi szynowe zwane również koleją są jednym z podstawowych systemów transportowych zarówno w Polsce jak i na całym świecie. Historia kolejnictwa sięga I połowy XIX wieku. Do końca tego stulecia na całym świecie trwał intensywny rozwój sieci dróg szynowych. Wtedy również znalazła swoje pierwsze zastosowanie trakcja elektryczna.

Koleje w Europie podlegają w ostatnich latach dużym zmianom i przekształceniom strukturalnym, związanym z oddzieleniem zarządzania infrastrukturą od wykonywania przewozów oraz liberalizacją rynku przewozów towarowych i pasażerskich. Obecnie w Polsce utrzymywała się tendencja do rozwoju infrastruktury transportu samochodowego, od niedawna dopiero zaczęto wdrażać program modernizacji kolejnictwa, który ma przed sobą przyszłość i bardzo duży potencjał.



Rys. 1. Pierwszy parowóz, nazywany wówczas parochodem, Warszawa 1840r.

KOLEJOWA SIĘĆ ELEKTROENERGETYCZNA

Kolejowy system elektroenergetyczny jest bardzo rozległy. Obejmuje on praktycznie cały kraj. W odróżnieniu od systemu energetyki zawodowej, kolejowy system elektroenergetyczny w Polsce składa się z dwóch części: przemien-

¹Politechnika Lubelska, WEiI, jakub.bieniek@pollub.edu.pl

no-prądowej i stałoprądowej, które połączone są ze sobą poprzez zespoły prostownikowe w podstacjach trakcyjnych.



Rys. 2. Nowoczesna podstacja trakcyjna na terenie Polski

Podstawową rolą kolejowego systemu elektroenergetycznego jest zasilanie pojazdów trakcyjnych (elektroenergetyka trakcyjna) oraz obiektów i urządzeń kolejowych (elektroenergetyka nietrakcyjna), w tym systemów oświetlenia terenów kolejowych, ogrzewania rozjazdów, systemów sterowania ruchem, urządzeń telekomunikacji, zaplecza technicznego, dworców itp.

Wyspecjalizowanym podmiotem gospodarczym, który zajmuje się dostarczaniem energii trakcyjnej i nieatrakcyjnej na polskiej sieci kolejowej jest PKP Energetyka S.A. Przedsiębiorstwo to wchodzi w skład tzw. Grupy PKP. Powstało w drodze realizacji działań restrukturyzacyjnych w ramach przedsiębiorstwa państwowego Polskie Koleje Państwowe. W roku 1998 w wyniku projektów restrukturyzacyjnych p.p. PKP wyodrębniony został Pion Elektroenergetyki, na bazie którego utworzono spółkę z o.o. PKP Energetyka, która rozpoczęła działalność w październiku 2001 roku. W lutym 2009 roku spółka z o.o. przekształcona została w spółkę akcyjną pn. PKP Energetyka S.A. W zakres działalności PKP Energetyka S.A. wchodzi przede wszystkim:

- obrót i dystrybucja energii elektrycznej
- świadczenie usług elektroenergetycznych.

Oprócz dostaw energii elektrycznej PKP Energetyka wykonują usługi elektroenergetyczne (utrzymanie sieci trakcyjnej, prace modernizacyjne i odtworzeniowe urządzeń trakcyjnych) a także usługi związane z innymi pracami w zakresie modernizacji infrastruktury linii kolejowych.

Podstawowym zadaniem elektroenergetyki nietrakcyjnej jest zasilanie obiektów kolejowych takich jak:

- stacje kolejowe
- przystanki
- urządzenia sterowania ruchem kolejowym.

System ten jest dzisiaj także coraz szerzej wykorzystywany przez PKP Energetyka do zasilania klientów zewnętrznych – poza kolejowych i składa się z następujących elementów:

- Linie potrzeb nietrakcyjnych (LPN)
Są to linie energetyczne (napowietrzne lub kablowe) 15 lub 20kV prądu przemiennego prowadzone obok linii kolejowych.
- Stacje transformatorowe
Obiekty zawierające transformatory obniżające napięcie 15 lub 20kV do 400/230V oraz urządzenia rozdzielające prąd do różnych obwodów.
- Rozdzielnie średniego napięcia (15 lub 20kV).
- Urządzenia rozdzielcze i łączeniowe średniego napięcia.

Z celek rozdzielni SN w podstacjach trakcyjnych zasilane są LPN. Również stacje transformatorowe są wyposażone w rozdzielnie SN, których stopień rozbudowania zależy od lokalnych potrzeb.

Obecnie długość zelektryfikowanych w Polsce linii kolejowych wynosi 11 800 km (ponad 50% eksploatowanych linii kolejowych). System zasilania energią elektryczną tworzy ponad 25236 km sieci trakcyjnej, ponad 20 000 odłączników sieci trakcyjnej, około 460 podstacji trakcyjnych i około 360 kabin sekcyjnych.

Zgodnie z ustawą o komercjalizacji, restrukturyzacji i prywatyzacji przedsiębiorstwa „Polskie Koleje Państwowe” z dnia 8.09.2000r. PKP SA utworzyła m.in. spółkę Polskie Linie Kolejowe S.A oraz spółkę PKP Energetyka. PKP S.A zobowiązana została do wniesienia do utworzonych spółek wkładów niepieniężnych wyodrębnionych z jej przedsiębiorstwa niezbędnych do prowadzenia działalności przez te spółki zgodnie z przepisami unijnymi oraz „Strategią dla transportu kolejowego do roku 2009”. W wyniku zrealizowanego procesu przekształceń wyodrębnił się podział własności urządzeń wchodzących w skład układów zasilania trakcji elektrycznej pomiędzy PKP Energetyka Sp z o.o. a PKP PLKS.A: a/ PKP PLK S.A stały się właścicielami urządzeń 3kV tj. zespołów prostownikowych, rozdzielni 3kV, kabli zasilaczy oraz kabli powrotnych w istniejących podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych a także nowo wybudowanych w procesie inwestycyjnym podstacji trakcyjnych wraz z liniami zasilającymi b/ PKP Energetyka stała się właścicielem urządzeń 30/15 kVprądu przemiennego. W roku 2007 nabyła majątek od PKP PLK S.A w zakresie urządzeń 3 kV istniejących podstacji (bez nowobudowanych w procesie inwestycyjnym). Po zakupie urządzeń sukcesywnie nabywała budynki podstacji trakcyjnych i kabin sekcyjnych, które były własnością PKP S.A Nieruchomości.

TECHNICZNE ASPEKTY LINII POTRZEB NIETRAKCYJNYCH

Wymagania dla elektroenergetyki nietrakcyjnej są takie same dla wszystkich linii. Zakładają one, że podstawowym rozwiązaniem LPN (linii potrzeb nietrakcyjnych) jest napowietrzna linia wybudowana na oddzielnych konstrukcjach wsporczych niż sieć trakcyjna, prowadzona wzdłuż linii kolejowej po terenie będącym w dyspozycji zarządcy infrastruktury kolejowej. LPN budowana jest po przeciwnej stronie torów niż kable teletechniczne lub napowietrzne linie teletechniczne. Trasę linii ustala się pod kątem łatwego dojazdu do stacji transformatorowych i słupów z odłącznikami. W obszarze stacji kolejowych i tam gdzie niemożliwe jest poprowadzenie linii napowietrznej dopuszcza się kablowe wykonanie LPN. Podstawowym źródłem zasilania linii potrzeb nietrakcyjnych są rozdzielnie średniego napięcia podstacji trakcyjnych, na szynowych liniach niezelektryfikowanych natomiast, LPN powinna być zasilana z rozdzielni średniego napięcia w GPZ.

Przekrój przewodów linii napowietrznych ustala się wg kryterium dopuszczalnego spadku napięcia obliczonego przy jednostronnym zasilaniu całej linii z uwzględnieniem przewidywanych odbiorów i rezerwy. Dopuszczalny spadek napięcia nie powinien przekraczać 5%. Niezależnie od wykonanych obliczeń przekrój linii napowietrznej nie powinien być mniejszy niż 50 mm^2 . Przekrój przewodów linii w wykonaniu kablowym lub odcinków kablowych ustala się wg kryterium przeciążalności zwarciowej. Przekrój linii kablowej (odcinków) powinien być większy od przekroju linii napowietrznej wchodzącej w skład tego samego odcinka.

Sterowanie i zabezpieczenia w miejscu zasilania dla LPN są zbliżone do standardów przyjmowanych dla linii średniego napięcia. Pole wyłącznika mocy wyposażone jest w zabezpieczenia nadprądowe i ziemnozwarciowe, dodatkowo w zależności od potrzeb pole wyłącznika mocy LPN może być wyposażone w zabezpieczenia podnapięciowe, nadprądowe zwłoczne, kierunkowo-mocowe.

Nastawy zabezpieczeń zapewniają wyłączalność zwarc, przeciążeń i doziemień oraz selektywność wyłączania z nastawami w polach linii zasilających podstację oraz w stacjach energetycznych 110/SN zasilających podstację. Przy doborze nastaw uwzględnia się sposób pracy punktu neutralnego sieci SN (izolowany, uziemiony przez rezystor, uziemiony przez dławik). W obiektach nowych oraz modernizowanych w polach LPN stosują się zabezpieczenia cyfrowe oraz sterowniki współpracujące z cyfrową magistralą przesyłu danych (np. CAN-Bus/RS485). Dotyczy to również dobudowy pól LPN w istniejących podstacjach, jeśli aktualnie nie posiadają cyfrowej magistrali przesyłu danych. Automatyka pola LPN umożliwia podanie napięcia na szyny SN podstacji trakcyjnej z sąsiedniej podstacji poprzez LPN, przy zachowaniu odpowiednich blokad i uzależnień, w celu rezerwowego zasilania potrzeb własnych podstacji lub innych LPN wychodzących z tej podstacji podczas długotrwałego zaniku napię-

cia na liniach zasilających. W szczególności dotyczy to podstacji trakcyjnych mających jedną linię zasilającą

Wymagania dotyczące elektroenergetyki nietrakcyjnej są zaostrzone dla linii o prędkości 200km/h i powyżej. Na tych liniach nigdy nie dopuszcza się budowy LPN na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej oraz łączniki sekcyjne powinny zapewnić podczas awarii wyłączenie maksymalnie jednej stacji transformatorowej.

Podstawowym rozwiązaniem stacji transformatorowych są napowietrzno-słupowe stacje transformatorowe. Na terenach stacji kolejowych oraz w obszarach gdzie LPN prowadzona jest w wykonaniu kablowym stacje transformatorowe występują najczęściej jako małogabarytowe stacje transformatorowo-rozdzielcze w wykonaniu budynkowym lub kontenerowym. Wszystkie stacje transformatorowe zasilają się z LPN poprzez rozłączniki.



Rys. 3. Kontenerowa stacja transformatorowa własności PKP Energetyka

PODSUMOWANIE

Elektroenergetyka kolejowa nie jest jednolitym układem. Składają się na nią dwa podstawowe i niezależne systemy: zasilania trakcji elektrycznej i zasilania odbiorów nietrakcyjnych. Systemy te mogą podlegać kolejnym podziałom. W systemie zasilania trakcji elektrycznej można wyróżnić układ zasilania sieci trakcyjnej (obiekty zasilania sieci trakcyjnej) i sieć trakcyjną. Z kolei w systemie zasilania odbiorów nietrakcyjnych występuje część średnionapięciowa (LPN i stacje transformatorowe) oraz elektroenergetyka niskiego napięcia (do 1 kV). Oprócz podziału funkcjonalnego elektroenergetyka kolejowa podzielona jest

również pod względem właścicielskim. Generalnie obiekty zasilania sieci trakcyjnej i część średnionapięciowa systemu zasilania odbiorów nietrakcyjnych są własnością PKP Energetyka S.A., natomiast sieć trakcyjna i elektroenergetyka do 1kV należą do PKP PLK S.A. Stan techniczny urządzeń elektroenergetyki kolejowej jest zróżnicowany –od bardzo dobrego na liniach zmodernizowanych do złego i bardzo złego na liniach lokalnych. Przy czym system zasilania trakcji elektrycznej tylko na kilku liniach ostatnio zmodernizowanych spełnia wymagania interoperacyjności i obowiązującym w PKP PLK standardów technicznych. Ponadto, do budowy i modernizacji urządzeń elektroenergetyki kolejowej (głównie sieci trakcyjnej) w wielu przypadkach stosowane są elementy, których parametry i technologia produkcji zostały opracowane w latach 60. XX wieku, a niektórych nawet w latach 30., co wpływa na koszty budowy oraz utrzymania tych urządzeń. PKP Energetyka S.A. jest przedsiębiorstwem energetycznym dostarczającym energię trakcyjną i nietrakcyjną. W zakresie dostaw energii trakcyjnej jest praktycznie monopolistą na rynku polskim. Ponadto prowadzi usługi budowlane, remontowe i serwisowe sieci trakcyjnej i urządzeń nietrakcyjnych. Natomiast PKP PLK S.A. nie posiada dostatecznego potencjału zapewniającego utrzymanie swoich urządzeń nietrakcyjnych i sieci trakcyjnej, czego wynikiem jest zlecenie tych prac, głównie do PKP Energetyka S.A. Sytuacja ta wymusza ścisłą współpracę pomiędzy obiema spółkami, przebieg której może się zmienić po ewentualnym sprywatyzowaniu PKP Energetyka S.A. Dodatkowym aspektem pracy systemu elektroenergetyki kolejowej jest we współpracy z dystrybutorami energii elektrycznej (energetyką zawodową) w zakresie dostaw energii do podstacji. Potencjał techniczny dystrybutorów energii bezpośrednio wpływa na możliwości rozwoju elektroenergetyki kolejowej (zarówno w systemie 3kV DC, jak i 25kV AC). Powoduje to niejednokrotnie sytuacje, w których modernizacja systemu zasilania trakcji elektrycznej wymusza modernizację systemu elektroenergetycznego, co w znacznym stopniu powiększa koszty modernizacji linii kolejowych.

LITERATURA

- [1] Rojek A., Jakość energii elektrycznej w kolejowym systemie elektroenergetycznym Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa
- [2] Olczykowski Z., Podstacja trakcyjna jako źródło wahań i zapadów napięcia
- [3] Sysak J., Drogi Kolejowe' Państwowe wydawnictwo Naukowe Warszawa 1956
- [4] Krzemieniecki A., Tabor Kolejowy, Wydawnictwo WKŁ, 1976
- [5] Bogdaniuk B., Budowa, modernizacja i naprawy dróg kolejowych, Wydawca: PKP Polskie Linie Kolejowe, 2010

GOOGLE CLOUD VISION USING IN THE AUTOMATIC SORTING SYSTEM

INTRODUCTION

Computer vision systems are increasingly being used to sort a variety of objects. There are automatic sorting systems for postal items, fruit sorting systems, grain sorting systems, mechanical parts sorting systems, waste sorting systems and others. All of these automatic sorting systems use computer vision. Typically, this is a highly specialized computer vision system designed to work with a limited variety of objects.

Consider industrial systems that implement fruit sorting. The fruits are placed on a conveyor, where they are individually divided into cells. Moving on the conveyor, the products pass through the optical unit. Here, the cameras placed in the block take several pictures of each product from different angles. In some systems, the position of the products can be further changed by the product scroll mechanism. Some systems allow you to get infrared and ultraviolet images. All images of each product are analyzed by specialized software, which on a set of images determines the characteristics: color, size (caliber), maturity, external defects, internal defects (rot, etc.), grade. Depending on the values of these characteristics of each product at the output of the optical unit is assigned a class. When passing the hopper of the appropriate class, the product is cut off in this hopper.

The development of specialized recognition and sorting systems requires a thorough study of the subject area, a variety of objects, the selection of classification parameters, the creation of samples for the training of artificial neural networks. Let's explore the suitability of universal object recognition services for use in automatic sorting systems.

DESIGN AND ALGORITHM

The test stand was developed (Fig. 1) to test the feasibility of implementing a Google Cloud Vision based sorting system. It consists of a conveyor 1, a conveyor drive 2, a digital camera 3 connected to a computer 4, an Arduino Uno board 5, an L293D motor driver 6, a pneumatic valve island 7 with pneumatic distributors, double-acting pneumatic cylinder 8 with pusher 9. The pneumatic island used has 7 free unused pneumatic distributors, so the system can be relatively easily expanded to sort 8 different groups of objects using up to 8 pneumatic cylinders.

¹National University of Water and Environmental Engineering, alex@ukr.net

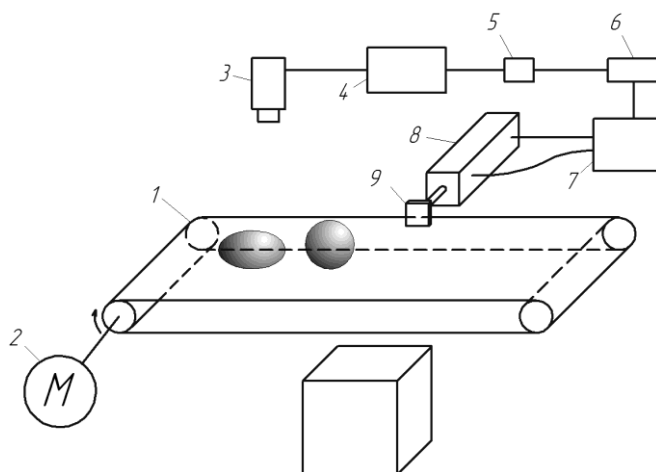


Fig. 1. Scheme of test stand

Sorting objects are fed to the conveyor at such a frequency that the projection of each object across the width of the conveyor does not intersect with other objects. Objects move along the conveyor and pass in the camera's field of view. The image from the camera is analyzed according to the algorithm below, and it is determined to which class the object is assigned. For objects of each class on the conveyor there is a corresponding dropping zone. If a classified object passes through the corresponding dropping zone, a control signal is generated on the pneumatic cylinder, which drops the object of this class.

A computer-based program uses the Google Cloud Vision API [1] and OpenCV [2] and executes the following algorithm:

- 1) Initialize the ImageAnnotatorClient to use the Google Cloud Vision API.
- 2) Initialize the camera and capture the video stream.
- 3) Initialize the connection to the Arduino Uno.
- 4) Receive a frame from the camera.
- 5) Compensation for uneven lighting.
- 6) Convert the frame to a color model HSV.
- 7) Selection of channel S - Saturation.
- 8) Smoothing a single-channel image.
- 9) Apply a threshold filter to the image to highlight objects in the background of the conveyor belt.
- 10) Search for closed contours on the resulting binary image.
- 11) Calculating the area of objects bounded by contours. Exclusion from further processing of contours with a small area in order to ignore the noise.
- 12) Determining the coordinates of the centers of objects.
- 13) Search for objects from the previous frame on the current one.

14) If a match is found, the coordinates of the object are updated, if not, a new tracked object is created. Objects from the previous frame that were not found in the current frame are considered to have left the field of view and are no longer tracked.

15) Check whether the center of the object has passed the photo-fixation line and has not been recognized before. If so, a jpg file is created from the frame, a request is sent to the Google Cloud Vision service, the timestamp is saved.

16) Getting a response to the query - a set of values "Label - Score".

17) Checking labels for belonging to specified classes. If there is a match, a new object reset task is created and it is placed in the task queue. The number of the pneumatic cylinder to be activated and the distance to the activation are indicated. The activation distance is adjusted by the length of the path traveled by the object during the stroke of the pneumatic cylinder rod. The stroke time of the rod is determined experimentally as the arithmetic mean of the stroke time when resetting the heaviest object that can occur during system operation and the lightest object. In each frame, each object in the task queue decreases the "distance to activation" property by the value of the product of the pipeline speed for the time elapsed from the previous frame.

18) If an object from the task queue has the property "distance to activation" became zero or negative, the Arduino Uno is sent a command to activate the pneumatic cylinder. The Arduino Uno microcontroller receives the number of the pneumatic cylinder to be activated from the computer and supplies a high logic level to the corresponding digital output. The high voltage level is maintained for a time sufficient for the full stroke of the pneumatic cylinder rod and the dropping of the object. This time is set in the program for Arduino Uno after experimental verification of the rod travel time. Then the low logic level is set again at the digital output. The voltage from the digital output of the microcontroller is fed to the input of the L293D motor driver, which is used as a power amplifier and logic level converter. The control signal 0-24V from the output L293D is fed to the input of the pneumatic valve island. The pneumatic valve island and the double-acting pneumatic cylinder are connected in such a way that when the low voltage is applied, the rod of the pneumatic cylinder is retracted into the cylinder, and when high voltage 24 V is applied, the rod is pushed out. The pusher attached to the pneumatic cylinder rod moves, pushes the object off the conveyor belt and returns to its initial position.

19) Placing the values "Label - Score" on the frame and outputting the image to the operator.

20) Go to p. 4 and processing the next frame.

Initially, the test stand was set up to choose oranges. During testing, oranges were always recognized successfully, the label "orange" was always in the first two results with the highest score. There was a sufficient number of false-positive identifications of mandarins as oranges. No false positives were ob-

served during the passage of the apple on the conveyor. No false positives were observed after changing classes to "apples" and "citrus" (including mandarins and oranges).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The developed sorting system, which uses Google Cloud Vision as a classifier, allows you to perform object recognition without significant costs for the development and training of your own classifier. This shortens the implementation time of the system, but allows you to sort only objects that are quite different from each other (such as oranges and apples). Minor features of the object, such as damage to the skin of the apple, do not significantly affect the classification result using Google Cloud Vision. At the same time, these fruit defects determine which variety the object will be sorted into. A stable internet connection is also required to perform the sorting process. From an economic point of view, it is advisable to compare a one-time capital investment to develop your own object recognition and classification system with the monthly cost of paying for Google Cloud Vision queries over its useful life.

Therefore, it is advisable to use Google Cloud Vision in sorting systems for heterogeneous objects, for which the development of its own classification system is impractical due to the high complexity of development, lack of training sample or short planned useful life.

BIBLIOGRAPHY

- [1] <https://cloud.google.com/vision/docs>, zasoby z 25.02.2020.
- [2] <https://opencv.org/releases/>, zasoby z 25.02.2020.

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W RÓŻNYCH OBSZARACH ŻYCIA SPOŁECZEŃSTWA

WSTĘP

Temat sztucznej inteligencji jest obecnie bardzo popularny, jeśli chodzi o nowinki ze świata informatyki i techniki, ale nie tylko, ponieważ swój rozkwit przeżywa również w wielu innych sferach życia społeczno-gospodarczego, w tym m.in. w medycynie, rolnictwie, bankowości, ekonomii, zarządzaniu, logistyce, handlu i oczywiście w produkcji. Indywidualni konsumenci korzystają z jej osiągnięć już na co dzień, np. podczas obsługi telefonu komórkowego czy różnego rodzaju aplikacji. Różnorodne podmioty funkcjonujące na współczesnych rynku, nie tylko zaawansowane technologicznie przedsiębiorstwa produkcyjne, ale również i inne przedsiębiorstwa, także korzystają z jej osiągnięć z dość dużym powodzeniem. Dzieje się tak bowiem zaobserwować obecnie można szybki rozwój elektroniki, co w konsekwencji sprzyja rozwojowi nauki o sztucznej inteligencji i możliwościom ich praktycznego stosowania na szeroką skalę. Wszystko to sprawia, iż wielu ludzi, zarówno konsumentów indywidualnych, jak i podmioty produkcyjne, usługowe czy handlowe, nie wyobraża już sobie bez nich życia.

Dlatego też, artykuł ten traktuje o możliwościach jakie daje nam sztuczna inteligencja i wyjaśnia podstawowe pojęcia z nią związane. Istotną cechą systemów, które są wspomagane komputerowo, jest potrzeba doskonalenia tych procesów, aby osoby zarządzające mogły świadomie wpływać na procesy związane ze skutecznym i efektywnym zarządzaniem organizacją.

ISTOTA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Istota sztucznej inteligencji, pomimo powszechności używania tego terminu, nie jest łatwa do określenia, ponieważ definicji tego pojęcia w literaturze przedmiotu jest wiele; ponadto niejednokrotnie pojmowana jest ona dość subiektywnie. Niewątpliwie jest jednak to, iż jest ona nierozzerwalnie związana z rozwojem technologii informatycznych, a w szczególności – dążeniem do stworzenia systemu, który przejawiałby oznaki inteligentnego myślenia [1].

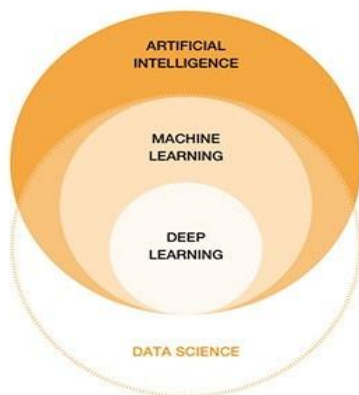
Po raz pierwszy termin sztucznej inteligencji został użyty przez Johna McCarthy'ego, amerykańskiego informatyka, w 1955r. na konferencji naukowej

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Zarządzania i Ekonomii, kierunek Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ORCID:0000-0003-0404-699X

w Dartmouth. Określił on ją jako „naukę i inżynierię tworzenia inteligentnych maszyn” [2]. Obecnie, według jednej z powszechnie obowiązujących definicji, sztuczna inteligencja (w skrócie SI) jest działem informatyki, który bada reguły rządzące inteligentnymi zachowaniami człowieka i wykorzystuje je w algorytmach i programach komputerowych [3]. Dzięki SI zdalne komputery mogą wykonywać czynności będące odwzorowaniem ludzkich zachowań, szczególnie tych wymagających użycia ludzkiego intelektu czy logiki [4]. W zagranicznej literaturze przedmiotu definicje tego pojęcia zaproponowali m.in.: Rich i Knight [5] („jest to nauka o czynnościach, które miałyby spowodować, że maszyny będą wykonywać funkcje, które aktualnie lepiej wykonuje człowiek”), Schalkoff [6] („dziedzina nauki próbująca wyjaśnić i emulować inteligentne zachowania za pomocą metod obliczeniowych”) czy też Winston [7] („Prace nad metodami obliczeniowymi, które umożliwiałyby [maszynom] postrzeganie, wnioskowanie, działanie”).

Badania nad sztuczną inteligencją wykorzystują narzędzia i ustalenia z wielu dziedzin, m.in. informatyki, psychologii, filozofii, kognitywistyki, lingwistyki, badań operacyjnych, ekonomii, teorii sterowania, prawdopodobieństwa, optymalizacji, logiki czy medycyny [8]. Stąd, zakres sztucznej inteligencji jest dość szeroki, wchodzi w niego bowiem: algorytmy, heurystyka, algorytmy genetyczne, systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe i logika rozmyta [9].



Rys.1 Model SI [10]

Sztuczna inteligencja (artificial intelligence) w obszarze swojego działania skupia się najpierw na zebraniu danych naukowych (data science). By algorytmy SI mogły zadziałać, niezbędna jest odpowiednia baza danych. Jej zgromadzenie często jest bardzo długim i pracochłonnym procesem, natomiast algorytmy działają na wynikach już zgromadzonych i wprowadzonych do oprogramowania bądź maszyny. Następnie, aby wykorzystać zebrane dane, zostaje wprowadzone tzw. uczenie maszynowe (machine learning). Uczenie się maszyn to dział SI

zajmujący się algorytmami potrafiącymi uczyć się podejmować decyzje bądź nabywać wiedzę. Ostatnim krokiem jest głębokie uczenie (deep learning). Model sztucznej inteligencji zaprezentowano na rysunku nr 1.

PROGRAMY SI

Jak już wcześniej wspomniano, w zakres sztucznej inteligencji wchodzi algorytmy ewolucyjne, heurystyka, algorytmy, genetyczne, systemy ekspertowe, sztuczne sieci neuronowe oraz logika rozmyta. Część z nich została opisana poniżej.

SYSTEMY EKSPERTOWE

Systemy ekspertowe (systemy z bazą wiedzy) to program lub zestaw programów komputerowych wspomagający korzystanie z wiedzy i ułatwiający podejmowanie decyzji. Systemy ekspertowe mogą wspomagać bądź zastępować ludzkich ekspertów w danej dziedzinie, mogą dostarczać rad, zaleceń i diagnoz dotyczących problemów. Jest to nauka, która rozwija się przez całą historię informatyki [11].

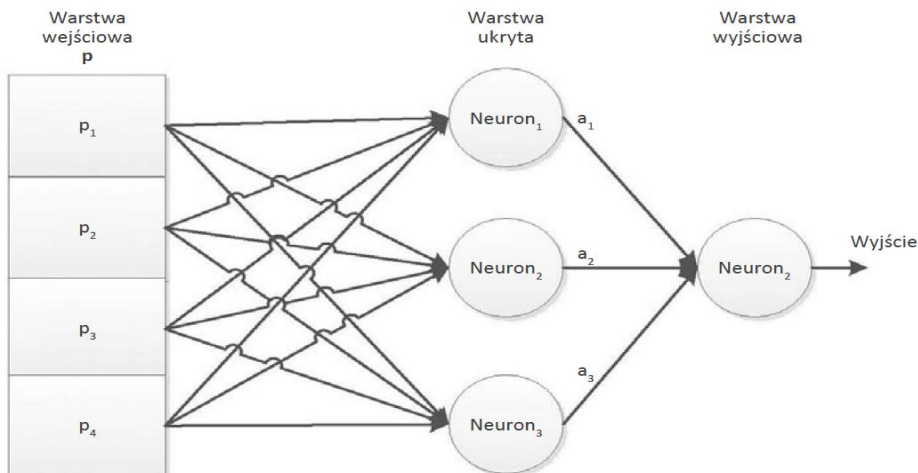
Nazwa systemy ekspertowe wzięła się z definicji EKSPERTA, którym jest człowiek, posiadający specjalistyczne umiejętności, doświadczenie i wiedzę taką, że większość ludzi takowej nie posiada. Potrafi ją sprawnie wykorzystać stosując sztuczki, skróty i tylko jemu znane „furtki”. W większości przypadków porady muszą być na tyle dobre, by podtrzymać statut eksperta, ale nie oczekuje się by były idealne. Dzięki wejściu w dialog z użytkownikiem, system może oferować rady lub podejmować decyzje, jak również objaśniać proces prowadzonego wnioskowania. Istnieje wiele obszarów, w których systemy ekspertowe mają duże zastosowanie. Jest to m.in. diagnozowanie chorób, poszukiwanie złóż minerałów, identyfikacja struktur molekularnych, udzielanie porad prawnych, diagnoza problemu (np. nieprawidłowego działania urządzenia).

SIECI NEURONOWE

Sieci neuronowe to zainspirowany budową oraz modelem funkcjonowania ludzkiego mózgu i układu nerwowego człowiek sprzęt lub oprogramowanie komputerowe. Kluczowym elementem tych układów są komórki nerwowe. Stąd też, sztuczne sieci neuronowe tworzą tzw. neurony (czyli elementy przetwarzające dane), które swoją strukturą starają się odzwierciedlić budowę komórki nerwowej [12].

Sztuczne sieci neuronowe składają się z trzech typów warstw (Rys. 2):

- wejściowej – warstwa ta zbiera dane i przekazuje je dalej,
- ukrytej – wykorzystuje powiązania między neuronami, czyli zachodzi proces uczenia się,
- wyjściowej – gromadzi wnioski i wyniki analizy.



Rys. 2. Typy warstw sieci neuronowych [13]

Neurony ułożone w trzech wspomnianych wyżej warstwach są ze sobą połączone są na zasadzie każdy z każdym między warstwami, natomiast w ogóle nie komunikują się ze sobą w danych warstwach. Zazwyczaj sieć neuronową tworzy wiele warstw, a każdy neuron przeprowadza własne proste obliczenia

Technologia sieci neuronowych ma wiele praktycznych zastosowań. Używa się jej m.in. do rozpoznawania pisma ręcznego w celu przetwarzania czeków, transkrypcji mowy na tekst, prognozowania pogody czy rozpoznawania twarzy [8].

ALGORYTM GENETYCZNY

Algorytm genetyczny pozwala znaleźć najlepsze rozwiązania problemów w oparciu o teorię doboru naturalnego i biologii ewolucyjnej. Jest bardzo skuteczny w przeszukiwaniu dużych i złożonych zestawów danych. Różne zestawy możliwych rozwiązań danego problemu są oceniane pod kątem jakości. Te, które okazują się lepsze, mogą się reprodukować. Algorytmy genetyczne są szeroko stosowane w wielu dziedzinach, m.in. w robotyce, projektowaniu na potrzeby motoryzacji czy telekomunikacji [8].

LOGIKA ROZMYTA

Logika rozmyta umożliwia natomiast opisywanie zjawisk fizycznych w sposób bardziej naturalny dla człowieka i równocześnie zrozumiały dla układów sterowania maszynami. Jej użycie obejmuje coraz częściej automatykę przemysłową, gdzie służyć może do kontroli złożonych procesów i sterowania różnymi układami. Logika rozmyta bazuje na pojęciu zbiorów rozmytych, czyli takich, które nie mają ścisłych granic. O tym, w jakim stopniu dany element można zaliczyć do konkretnego zbioru, decyduje tzw. funkcja przynależności

przypisująca poszczególnym argumentom wartość z zakresu od 0 do 1 [14]. Jednakże logika rozmyta w swoim zakresie traktuje zadania szerzej niż 0/1 czy P/F/. Wykorzystywana jest m.in. w blokadach telefonów oraz ofertach biur podróży.

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Sztuczna inteligencja znajduje coraz szersze zastosowanie w różnych segmentach rynku: w medycynie, rolnictwie, bakowości, handlu, produkcji czy w logistyce. Dzieje się tak, bowiem problemy sztucznej inteligencji rozwiązuje tzw. inteligencja obliczeniowa (computational intelligence) [12], która korzysta, jak już wcześniej wspomniano, z takich technik, jak [15]: sieci neuronowe, logika rozmyta, algorytmy ewolucyjne, zbiory przybliżone, zmienne niepewne, metody probalistyczne.

Specjaliści z MIT (Instytutu Technologii w Massachusetts) stworzyli model sztucznej inteligencji, który zaprogramowali tak, aby badał skuteczność różnych substancji w walce z bakteriami. Dzięki temu powstała halicyna [16]. Antybiotyk będzie skuteczny wobec wielu bakterii, m.in. prątków gruźlicy czy takich szczepów, z którymi do tej pory nie udawało się wygrać. Jest nietypowy, gdyż ma niską toksyczność oraz okazuje się być niepodatny na uodpornianie się organizmu na jego działanie [17].

Kolejnym przykładem na wykorzystanie osiągnięć sztucznej inteligencji w medycynie jest początek wykrywania raka piersi przez jej algorytmy. Korzystając z technik głębokiego uczenia algorytmy te, szkoliły się na obrazach z badań mammograficznych wykonanych przez prawie 100 tys. kobiet z Wielkiej Brytanii i Stanów Zjednoczonych. Wyniki sugerują, że algorytmy mogłyby podnieść jakość badań. Mogłyby zastąpić drugiego eksperta oceniającego wyniki badań, przeciwdziałając brakom kadrowym wśród lekarzy na całym świecie [18].

Sztuczna inteligencja znajduje swoje zastosowanie także i w medycynie sądowej. Do identyfikacji osobowej oraz do poszukiwania osób zaginionych wykorzystuje się geometryczną identyfikację twarzy, możliwą dzięki użyciu systemów bioinformatycznych, w tym biometrycznych. Metody sztucznej inteligencji mogą być również pomocne w przypadku badań spornego ojcostwa czy w badaniach historycznych i genealogicznych [19].

W rolnictwie dzięki wykorzystaniu SI możliwe jest np. przewidywanie poziomu plonów kukurydzy. Naukowcy zastosowali rodzaj uczenia maszynowego, określanego jako konwolucyjne sieci neuronowe (ang. convolutional neural network - CNN) posługującą się w tym przypadku informacjami z różnych obszarów: danymi o przewodności elektrycznej gleby, poziomie azotu i dawce nasion. Aby przewidzieć plony, naziemne pomiary zestawiono ze zdjęciami satelitarnymi o wysokiej rozdzielczości [20]. Porównując CNN z innymi metodami, okazało się, że CNN sprawdza się naprawdę bardzo dobrze w wyjaśnianiu zróżnicowania w poziomie plonów. Kolejną nowością z obszaru SI, działającą w rolnic-

twie są roboty, które już weszły do eksploatacji. Roboty te mają zastępować pracowników fizycznych i umysłowych. Takie rozwiązanie ma za zadanie podnieść jakość i skuteczność pracy oraz wyeliminowanie pracy niewydajnej [21].

Wspomniane wcześniej inne branże – produkcja, ekonomia, zarządzanie, transport i logistyka - również starają się w jak największym stopniu wykorzystywać zdobycze współczesnej technologii, generując dzięki temu różnorodne korzyści. I tak np., w przemyśle - technologie oparte na logice rozmytej – są dość często stosowane np. do sterowania przebiegiem procesów technologicznych w fabrykach. Z kolei w ekonomii, powszechnie stosuje się systemy automatycznie oceniające m.in. zdolność kredytową, profil najlepszych klientów, czy planowane kampanie reklamowe. Również zakładanie kont czy udzielanie pożyczek zaczynają być samoobsługowe, czyli wspierane przez sztuczną inteligencję [22]. Szczególną możliwością wykorzystania SI w bankowości są zbliżeniowe karty mikroprocesorowe, stworzone przy połączeniu sztucznych sieci neuronowych z nowoczesną technologią mikroprocesorową [23]. Kolejnym przykładem bardzo dobrego zastosowania sztucznej inteligencji są oferty biur podróży, wyszukiwanie lotów i połączeń.

Sztuczna inteligencja znajduje swoje praktyczne zastosowanie także w logistyce, lub ujmując szerzej w całej branży TSL (transport, spedycja logistyka), w tym m.in. do: do optymalizacji tras przejazdu [24], do oceny zapewnienia jakości środków transportu [25], do oceny systemów logistycznych [26], czy też do oceny usług logistycznych przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych [12].

Rozwiązania sztucznej inteligencji znajdują również swoje zastosowanie w życiu codziennym zwykłego konsumenta. Dzięki SI możemy np. posiadać telefon, który rozpozna naszą twarz. Jest to już dość popularne urządzenie, a obszar sztucznej inteligencji na tyle szybko się rozwija, że na rynku pojawiły się już nawet telefony rozpoznające mowę właściciela, mogące identyfikować melodię, a nawet rozpoznawać zapach [27].

Sztuczna inteligencja wychodzi także naprzeciw powszechnym problemom, które dotyczą ludzi na całym świecie. Jednym z takich problemów jest np. wyciek nagrań zdjęć do Internetu. Na tego typu problemy narażeni są nie tylko dorośli, ale też dzieci. W Japonii jest to bardzo duży problem i właśnie tam do sprzedaży wszedł smartfon Tone e20, którym nie można wykonywać takich zdjęć. Dzięki sztucznej inteligencji, telefon wykrywa już samą próbę zrobienia nagiego zdjęcia i od razu ją blokuje. Dodatkową opcją tego telefonu jest możliwość wysłania powiadomienia do rodziców dziecka, o próbie zrobienia nagiego zdjęcia. Cena w przeliczeniu na złotówki to ok. 710 zł [28].

SZTUCZNA INTELIGENCJA A PRACA CZŁOWIEKA

Wiele środowisk uważa, że działania sztucznej inteligencji mogą doprowadzić do redukcji miejsc pracy dla dużej liczby ludzi. Jednak sztuczna inteligencja, nawet najdoskonalsza jaka istnieje, wciąż nie może dorównywać człowie-

kowi. Nasza wiedza to nie tylko zdolności logicznego rozumowania, czy matematycznego dowodzenia twierdzeń. To dużo więcej. Nasz mózg kryje w sobie również często nieuświadomianą przez nas wiedzę na temat percepcji czy motoryki. Nadal nie jesteśmy w stanie dokładnie wytłumaczyć, jak to się dzieje, że potrafimy chodzić, przez co roboty, nawet te o najbardziej zaawansowanych zdolnościach chodzą bardzo pokracznie. Wysoce wyrafinowane zachowania i stany, tj. miłość, kreatywność, wybory moralne będą zawsze poza zakresem jakiegokolwiek maszyny czy programu komputerowego.

Człowiek będzie nadal potrzebny, ale w nowych obszarach. Pojawia się bowiem nowe zawody, praca będzie bardziej efektywna, dzięki współpracy człowieka i maszyny. Jeden z wybitnych badaczy sztucznej inteligencji Hans Moravec sformułował w 1988 roku zdanie, które dziś nazywane jest „paradoksem Moraveca” i brzmi: „Stosunkowo łatwo sprawić, żeby komputery przejawiały umiejętności dorosłego człowieka w testach na inteligencję albo w grze w warcaby, ale jest trudne zaprogramowanie im umiejętności rocznego dziecka w percepcji i mobilności” [27].

6. PODSUMOWANIE

Możliwości zastosowania sztucznej inteligencji w życiu codziennym i w wielu innych sferach życia społeczno-gospodarczego są ogromne. Wskazują na to przytoczone w artykule przykłady pokazujące w jak wielu dziedzinach ma ona już swój udział: od codziennej obsługi telefonu komórkowego przez zwykłego człowieka po wynalezienie leku na nieuleczalne choroby. Dzieje się tak za sprawą postępu technologicznego, rozwoju elektroniki, a także chęci poszukiwania nowych rozwiązań na wielu płaszczyznach codziennego życia.

Dzięki wielopoziomowemu działaniu sztuczna inteligencja nie jest już tylko postrzegana jako wymysł informatyki, tylko realnie przyczyniające się narzędzie do poprawy warunków i miejsc pracy, a także narzędzie wyręczające niejednokrotnie człowieka z często nieprzyjemnej i czasochłonnej pracy.

Wydaje się więc, że sztuczna inteligencja będzie się nadal dynamicznie rozwijać, a jej jeszcze większe osiągnięcia będziemy zapewne obserwować w niedalekim czasie w wielu różnorodnych obszarach i dziedzinach nie tylko informatyki, czy produkcji, ale także medycyny, bankowości, transportu, logistyki, rolnictwa czy szeroko rozumianego życia społeczno-gospodarczego.

LITERATURA

- [1] Pleban B. Chatboty jako realizacja testu Turinga, a zastosowania w biznesie, 2010, 407-413.
- [2] Warszucki M., Wykorzystanie sztucznej inteligencji do predykcji emocji konsumentów, Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów, Szkoła Główna Handlowa, 2019, Zeszyt naukowy nr 173, 111-121
- [3] http://encyklopedia.pwn.pl/30489_1.html, zasoby z 14.05.2020 r.

- [4] <https://businessinsider.com.pl/technologie/czym-jest-sztuczna-inteligencja/qzg0wt> zasoby z 10.04.2020 r.
- [5] Rich E., Knight K. 1990. Artificial Intelligence, McGraw-Hill Science
- [6] Schalkoff R.J. 1990. Artificial Intelligence: An Engineering Approach, McGraw-Hill College.
- [7] Winston P. H. 1992. Artificial Intelligence, Addison-Wesley Pub Co
- [8] <https://www.sztuczna-inteligencja.org.pl/> zasoby z 10.04.2020 r.
- [9] Różanowski K. 2007. Sztuczna inteligencja: rozwój, szanse i zagrożenia, Zeszyty Naukowe Warszawskiej Wyższej Szkoły Informatyki, nr 2, s. 109-135
- [10] <https://www.oracle.com/pl/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [11] https://mfiles.pl/pl/index.php/Systemy_ekspertowe, zasoby z 10.04.2020 r.
- [12] Józwiak A., Świdorski A. 2017. Algorytmy sztucznej inteligencji w logistyce, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 117 Transport, 97-108
- [13] <https://www.controlengineering.pl/sieci-neuronowe-w-sterowaniu-procesami-technologicznymi/> rozmyta, zasoby z 10.04.2020 r.
- [14] <https://automatykab2b.pl/technika/39502-logika-rozmyta>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [15] Rutkowski L. 2005. Metody i techniki sztucznej inteligencji, PWN, Warszawa.
- [16] <https://www.focus.pl/artykul/sztuczna-inteligencja-w-sluzbie-zdrowia-jak-ai-znalazla-nowy-antybiotyk>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [17] https://noizz.pl/nauka-i-technologie/sztuczna-inteligencja-znalazla-nowy-antybiotyk-na-nieuleczalne-infekcje/lmm5193?utm_source=noizz.pl, zasoby z 10.04.2020 r.
- [18] <https://dzienniknaukowy.pl/nowe-technologie/sztuczna-inteligencja-lepsza-w-wykrywaniu-raka-piersi-od-lekarzy>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [19] Filipowicz, E., Kwiecień, J., Kłys, M., Filipowicz, B. 2005. Analiza możliwości zastosowania metod sztucznej inteligencji w medycynie sądowej, Bio-Algorithms and Med-Systems, vol. 1, no. 1/2, 3–8
- [20] <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/zboza/sztuczna-inteligencja-dokladniej-przewidzi-plony-kukurydzy.92269.html>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [21] Boguski J. 2019. Zastosowanie robotów w gospodarstwach rolnych, Instytut Nauk o Zarządzaniu i Jakości, Wyższa Szkoła Menedżerska, Postępy techniki przetwórstwa spożywczego, nr 2, Warszawa, s.143
- [22] Wiater J. 2017. Sztuczna inteligencja – analiza SWOT z perspektywy bankowości, ALTERUM Ośrodek Badań i Analiz Systemu Finansowego, Warszawa
- [23] Balicki J., Balicka H., Korlubiński W., Paluszak J., Pastewski M., Przybyłek, P., Zadroga M., Zakidalski M. 2013. Metody sztucznej inteligencji do wspomaganie bankowych systemów informatycznych, 125–138
- [24] Werner K., Mierziński R., Pochmara J. 2008. Zastosowanie sztucznej inteligencji w logistyce miejskiej, Logistyka, nr 2
- [25] Świdorski A. 2009. Studies and quality assurance neural modelling of the technical transport means, Archive of Transport, Polish Academy of Sciences Committee of Transport, Volume 21, issue 3-4, Warsaw, s. 177–188
- [26] Brzeziński M., Kijek M., Zelkowski J. 2016. Ocena systemów logistycznych z wykorzystaniem logiki rozmytej, Gospodarka Materialowa i Logistyka, nr 11, 11–26

- [27] <https://www.komputerswiat.pl/artykuly/redakcyjne/sztuczna-inteligencja-co-potrafi-i-po-co-nam-ona/>, zasoby z 10.04.2020 r.
- [28] <https://next.gazeta.pl/next/7,151243,25725659,tym-smartfonem-nie-zrobisz-nagich-zdjec-sztuczna-inteligencja.html>, zasoby z 10.04.2020 r.

ZASTOSOWANIE ZEGARA ASTRONOMICZNEGO W STEROWANIU OŚWIETLeniem DEKORACYJNYM DOMU

WSTĘP

Oświetlenie w budynkach oprócz funkcji podstawowej jaką jest doświetlenie pomieszczeń, coraz częściej spełnia funkcję dekoracyjną. Wyeksponowanie pewnych elementów budynku lub znajdujących się w nim rzeczy nabiera coraz większego znaczenia. Do niedawna do sterowania oświetleniem służył powszechny łącznik instalacyjny. Pozwala on załączyć lub wyłączyć oświetlenie, jednak wymaga każdorazowo jego obsługi. Obecnie mamy o wiele większe możliwości załączania i wyłączania oświetlenia. Możemy sterować oświetleniem za pomocą pilota, ze zmianą także kolorystyki iluminacji. Same załączenie i wyłączenie oświetlenia możemy zrealizować za pomocą różnego rodzaju czujników i zegarów programowalnych.

Celem artykułu jest przedstawienie różnych rozwiązań sterowania oświetleniem dekoracyjnym, biorąc pod uwagę wygodę realizacji bez uwzględnienia kosztów eksploatacji takich rozwiązań. Szczególnym celem jest przedstawienie zegarów astronomicznych realizujących prawie bezobsługowe sterowanie oświetleniem na wybranym przykładzie. Artykuł oparty jest na podstawie wieloletniego doświadczenia autora w danej tematyce, uzyskanego w branży instalatorstwa elektrycznego.

SPOSODY REALIZACJI STEROWANIA OŚWIETLЕНИЯ DEKORACYJNEGO

Oświetlenie dekoracyjne wewnętrzne i zewnętrzne domu, a także przestrzeni wokół niego często jest nie przemyślane. Inwestorzy decydują się na najprostsze rozwiązanie. Należy do tego instalowana oprawa oświetleniowa z łącznikiem sterującym zlokalizowanym wewnątrz lub na zewnątrz domu, albo inwestor decyduje się na oprawę z czujnikiem ruchu, co jest już formą rozbudowaną. Należy zaznaczyć, iż rozwój technologiczny umożliwia nam kilka sposobów sterowania oświetleniem, aby było ono zarówno wygodne, funkcjonalne jak i dopasowane do zmieniających się warunków zewnętrznych oraz potrzeb domowników. Dodatkowo możemy tutaj zaznaczyć aspekt oszczędności energii elektrycznej przy odpowiednim skonfigurowaniu sterowania.

W niniejszym rozdziale zostaną opisane rozwiązania zrealizowane przez autora z podaniem przykładów zastosowań. Przedstawione opisowo układy stero-

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, bosacki.p@wp.pl

wania sprawdzają się także w różnych innych przypadkach oświetlenia podstawowego, nie tylko przy oświetleniu dekoracyjnym.

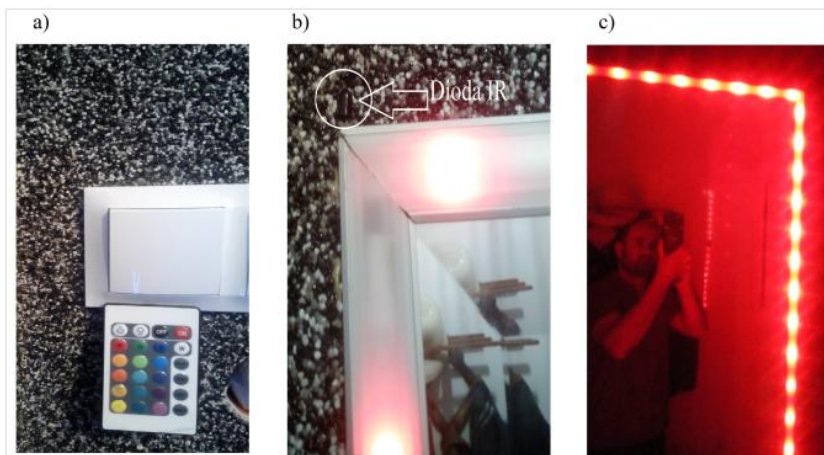
STEROWANIE OŚWIETLeniem DEKORACYJNYM ZA POMOCĄ ŁĄCZNIKA I PILOTA

Jak zostało już wspomniane we wstępie, sterowanie łącznikiem pozwala na załączenie i wyłączenie oświetlenia, jednak wymaga każdorazowo jego obsługi. W prostych rozwiązaniach jest on jedynym i zarazem niezbędnym elementem instalacji w obwodach oświetleniowych. Na takie rozwiązanie decydują się osoby, gdzie oświetlenie dekoracyjne nie odgrywa istotnej roli w funkcjonowaniu całej instalacji oświetleniowej. Takim rozwiązaniem kierują się także osoby ze względu na najmniejszy koszt realizacji takiej instalacji. Przekłada się to co prawda na dyskomfort użytkownika. Jednak przy prostych instalacjach te rozwiązanie może okazać się wystarczającą formą, a zarazem wygodną. Zależy to przede wszystkim od częstości załączania danego oświetlenia oraz od czasu przez jaki ma dane oświetlenie być użytkowane. Zainstalowane oświetlenie wraz z łącznikiem wewnątrz budynku z pewnością przysporzy mniej komplikacji niż instalacja z łącznikiem znajdującym się w znacznej odległości od użytkownika. Przykładem są oprawy oświetleniowe zainstalowane przy bramie wjazdowej w znacznej odległości od domu, a na etapie budowy został ułożony w ziemi jedynie przewód zasilający prowadzący do słupka ogrodzeniowego. Wówczas sterowanie oświetleniem można zrealizować jedynie w jednym z wybranych miejsc. Zostajemy zmuszeni wybrać opcję przy słupku ogrodzeniowym lub jeśli istnieje możliwość w innym wybranym miejscu. Wpływa to bezpośrednio na wygodę użytkownika. Istnieje tutaj jeszcze rozwiązanie, w celu udogodnienia użytkownika, przedstawione w kolejnym punkcie rozdziału.

Bardziej zaawansowanym sposobem sterowania oświetleniem możemy zrealizować za pomocą pilota radiowego lub na podczerwień. Te rozwiązanie mimo dogodnego ułatwienia także posiada swoje ograniczenia. Nadal należy ręcznie sterować oświetleniem. W przypadku pilota radiowego możemy uzyskać znaczny zasięg odległości od miejsca, gdzie dane oświetlenie ma być zainstalowane. W zależności od jakości urządzenia i przestrzeni -przeszkód-odległość może sięgać od 25 do 100m lub nawet więcej [1].

W przypadku pilota na podczerwień skazani jesteśmy na dość mały zasięg sięgający jedynie kilku metrów od czujnika (odbiornika) podczerwieni.

Rysunek 1 przedstawia przykład realizacji takiego sterowania. Jednak do oświetlenia dekoracyjnego wewnątrz budynku jest to rozwiązanie wygodne i wystarczające. Podany przykład jest wykonaniem własnym autora artykułu.



Rys. 1. Przykład realizacji sterowania oświetlenia dekoracyjnego, a) pilot taśmy LED w połączeniu z łącznikiem, b) zamaskowany odbiornik podczerwieni, c) wizualizacja zrealizowanego oświetlenia – wokół lustra

STEROWANIE OŚWIETLeniem DEKORACYJNYM ZA POMOCĄ CZUJNIKA RUCHU I ZMIERZCHOWEGO

Sterowanie z zastosowaniem czujnika ruchu jest alternatywą do sytuacji opisanej w punkcie poprzednim. Stosując takie rozwiązanie w podanym przykładzie wzbogacamy wygodę w użytkowaniu oświetlenia zewnętrznego. Czujnik ruchu jest już powszechnie instalowany w oprawach oświetlenia zewnętrznego (najczęściej z dodatkowym czujnikiem zmierzchu). Rysunek 2 przedstawia przykład oprawy oświetlenia wraz z czujnikiem ruchu i czujnikiem zmierzchu.



Rys. 2 . Przykład oprawy oświetlenia wraz z czujnikiem ruchu i czujnikiem zmierzchu

Takie rozwiązanie najlepiej sprawdzi się w opisanym przypadku. Jest to także dobre rozwiązanie w oprawach oświetlenia instalowanego na zewnętrznej ścianie budynku. Przykładem funkcji takiego oświetlenia oprócz dekoracyjnego jest doświetlenie przestrzeni, w której ktoś w porze wieczornej idzie przez nieoświetlony teren. A te rozwiązanie idealnie realizują swoją funkcję załączając oświetlenie w momencie niewystarczającego oświetlenia naturalnego w chwili, kiedy występuje wykryty ruch na obszarze będącym w detekcji czujnika. Rozwiązanie te ma również wady. Zdarza się, że użytkownik potrzebuje, aby oświetlenie te po załączeniu, świeciło się przez dłuższy czas niż przewidziany przez producenta oprawy oświetleniowej. Innym problemem jest także duży wpływ podczas zmieniających się warunków atmosferycznych, a szczególnie na terenie, gdzie dostateczna ilość spadających liści z drzew może powodować załączenie oświetlenia w momencie nieoczekiwanym. Zlokalizowanie czujnika ruchu blisko ruchliwej drogi, także może spowodować zbędne załączanie i wyłączanie oświetlenia. Wpływając na niepotrzebne zużycie energii elektrycznej. Nabiera to największego znaczenia przy oświetleniu dekoracyjnym, gdzie chcemy cieszyć się eksponowaniem iluminacji o odpowiedniej jakości.

Bardziej stabilną pracę oświetlenia możemy zrealizować stosując czujnik zmierzchowy bez czujnika ruchu. W tym przypadku niezależnie, czy istnieje ruch w strefie oświetlenia, doświetlenie wskazanych miejsc jest załączone po osiągnięciu określonego progu ustawionego na czujniku zmierzchowym. Jest to dobre rozwiązanie wówczas, gdy oczekujemy, aby oświetlenie załączone wieczorem zgasło dopiero rano przy dostatecznym oświetleniu naturalnym. Za pomocą samego czujnika zmierzchowego nie mamy możliwości ingerencji w celu skrócenia czasu świecenia oświetlenia w wybranym czasie, co za tym idzie także oszczędności energii.

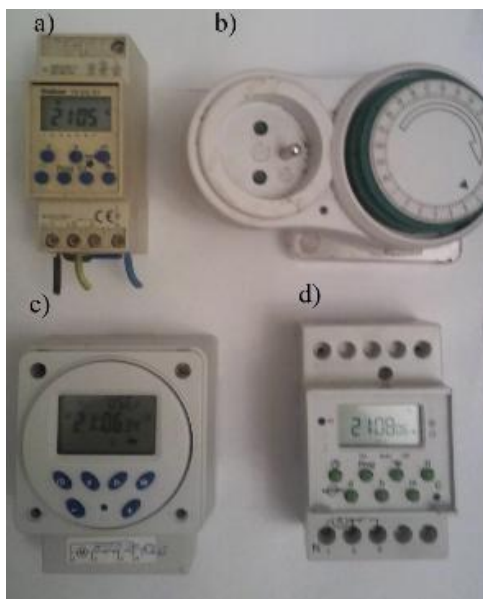
STEROWANIE OŚWIETLeniem DEKORACYJNYM ZA POMOCĄ ZEGARA CZASOWEGO

Opisany stan w poprzednim przypadku nasuwa nam sposób rozwiązania sytuacji dogodniejszego sterowania oświetleniem dekoracyjnym, kierując się ekonomicznym uwarunkowaniem. Wiedząc już, że czujnik zmierzchowy załączy oświetlenie na całą noc, a chcąc dokonać bezobsługowego samoczynnego wyłączenia w czasie, kiedy oświetlenie jest zbędne, możemy rozbudować już stworzoną instalację o programator czasowy. Obecnie w sprzedaży są dostępne zegary czasowe wielu producentów. Począwszy od prostych dobowych mechanicznych, poprzez elektroniczne z możliwością ustawienia tygodniowego.

Programator mechaniczny nie posiada podtrzymania bateryjnego ustawień. Podczas zaniku zasilania jego ustawienia zostają zmienione – zegar zatrzymuje się na ustawionej godzinie „czekając” na ponowne załączenie zasilania. Im dłuższy czas oczekiwania, tym dłuższy czas przesunięcia czasowego na zegarze. Powoduje to konieczność częstego kontrolowania ustawionej godziny na zegarze.

Programator elektroniczny posiada wewnętrzną baterię podtrzymującą pamięć ustawionego czasu zegara. Podczas, gdy zegar podłączony jest do zasilania to korzysta on z niego nie powodując rozładowanie wewnętrznej baterii. Tutaj ograniczyć możemy się do czasowego sprawdzenia aktualności godziny na tym zegarze. Kontrola godziny w jednym i drugim przypadku jest konieczna podczas zmian czasu z letniego na zimowy i w odwrotnej sytuacji. Dodatkowo należy korygować czas załączenia zgodnie z przesunięciem zachodów i wschodów słońca.

Należy zaznaczyć, iż niektóre konstrukcje posiadają automatyczną zmianę czasu z letniego na zimowy i odwrotnie. Rysunek 3 przedstawia przykład zegarów programowalnych różnych producentów.



Rys. 3. Programatory czasowe różnych producentów. a) model theben TR 610 S (z 1997 roku ze sprawną oryginalną baterią!!!, zdemontowany w 2019r.), b) programator mechaniczny model TM-8016, c) PCX4-117, d) PCm.051k 230

Zważywszy na cenę i wygodę obsługi wspomnianych programatorów najlepiej zdecydować się na programator czasowy elektroniczny. Należy zwrócić uwagę, iż programatory elektroniczne zamieszczone na zdjęciu posiadają nadal sprawną baterię mimo, iż najmłodszy model PCX4-117 wyprodukowany został w 2008r. Na miano rekordzisty pod tym względem zasługuje model theben TR 610 S z 1997 roku i zdemontowanego w 2019 roku. Obecnie w momencie wykonania zdjęć maj 2020r, baterie w zegarach są nadal sprawne.

Przetawione w tym rozdziale zegary posiadają wiele zalet, jednak jak już zostało wspomniane, wymagają one zmiany ustawień godzin załączenia w porze

wieczorowej i porannej. Związane jest to ze zmianą długości dnia wraz ze zmianą pór roku.

W kolejnym rozdziale zostanie przedstawiony przykład realizacji sterowania oświetlenia dekoracyjnego w sposób prawie bezobsługowy, bez częstych regulacji godzin na zegarze.

STEROWANIE ZA POMOCĄ ZEGARA ASTRONOMICZNEGO NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE

W poprzednim rozdziale zostały przedstawione sposoby realizacji sterowania oświetlenia dekoracyjnego w domu. Na podstawie zamieszczonych informacji możemy stwierdzić, iż podane przykłady nie są rozwiązaniem idealnym. Pomimo samoczynnego sterowania oświetlenia za pomocą zegarów czasowych, jednak wymagają one naszej ingerencji w celu korekcji czasów spowodowanych zmiany zachodów i wschodów słońca. Na przeciw tym wymaganiom wychodzi zegar astronomiczny. To urządzenie może z powodzeniem zastąpić oprawy oświetleniowe sterowane czujnikiem zmierzchu. Zegar astronomiczny na podstawie podanych na etapie konfiguracji współrzędnych geograficznych, oblicza godzinę wschodu i zachodu słońca w każdym dniu roku. Istotną rzeczą jest to, że w swoich obliczeniach uwzględni też dwukrotną w ciągu roku zmianę czasu. Jak wynika z informacji z poprzedniego rozdziału programatory czasowe nie miały takiej możliwości. W oparciu o wczytane do zegara astronomicznego dane, urządzenie będzie sterowało załączaniem oświetlenia w ściśle określonym czasie. Najczęściej posiadają one możliwość konfiguracji godziny przełączenia styku sterującego i umożliwiają załączenie oświetlenia z określonym czasem przed zachodem słońca, kiedy już może być dość ciemno na zewnątrz i wyłączenie po określonym czasie po wschodzie [2].

Zaawansowane zegary mają też opcję zdefiniowania przerwy przez kilka godzin w nocy. Wówczas nie trzeba tutaj stosować dodatkowego programatora w celu realizacji przerwy nocnej. Kolejnym atutem zegara astronomicznego jest brak zewnętrznych sond, które często ulegają zabrudzeniu lub nawet uszkodzeniu. Jednak niektóre zegary astronomiczne posiadają możliwość dodatkowego podłączenia czujnika zmierzchu. Zastosowanie omawianego zegara ma jeden minus, który trzeba uwzględnić. Nie załączy on oświetlenia, gdy na zewnątrz są czarne chmury i w efekcie mrok w trakcie dnia. Jednak taka sytuacja może być rozwiązana stosując zegar z możliwością podłączenia czujnika zmierzchu. W tej sytuacji można już dyskutować, czy dane oświetlenie powinno się załączyć w momencie przed zachodem słońca, gdy nieoczekiwanie na niebie pojawiają się czarne chmury i zapanuje ponury mrok. Rys. 4 przedstawia przykłady profesjonalnych zegarów astronomicznych stosowanych na potrzeby sterowania oświetleniem przemysłowym, a także w zastosowaniach domowych.



Rys. 4. Przykłady zegarów astronomicznych RABBIT CPA 3.0, CPA 4.0n, ENEA POMIARY ZE-02

Dalsze rozważania sterowania oświetlenia dekoracyjnego zostaną skupione na programatorze CPA 4.0n, który jest następcą sterownika CPA 3.1. Posiada on wszystkie dobre cechy swojego poprzednika jak niezawodność w działaniu i solidność konstrukcji. Dodatkowo został wzbogacony o funkcje, które w zasadniczy sposób podnoszą komfort pracy i możliwość jeszcze dokładniejszego sterowania oświetleniem ulicznym w zastosowaniach przemysłowych, a także idealne w zastosowaniach domowych. CPA 4.0n to niezawodny, prosty w montażu i obsłudze sterownik.

Do jego podstawowych zalet należą:

- dokładne, a co za tym idzie oszczędne załączanie i wyłączanie oświetlenia dla każdego dnia roku w zależności od wschodów i zachodów słońca,
- korygowanie tabeli wschodów i zachodów słońca dla poprawek na „+” i „-”,
- wyłączanie części lub całości oświetlenia w okresie najmniejszego ruchu,
- dostosowanie czasu świecenia do sytuacji finansowej oraz potrzeb użytkownika,
- poprawna praca bez wyłącznika zmierzchowego,
- niezależne sterownie dla dwóch obwodów oświetleniowych,
- zliczanie czasu pracy każdego z dwóch obwodów oświetleniowych w celu planowania serwisu i uniknięcia awarii,
- sterowanie pracą licznika dwutaryfowego,
- automatyczna zmiana czasu z letniego na zimowy i odwrotnie,
- możliwość wyłączenia przerwy nocnej od piątku do niedzieli,
- natychmiastowa praca zaraz po zamontowaniu [3]

Podstawowe dane techniczne sterownika CPA 4.0n

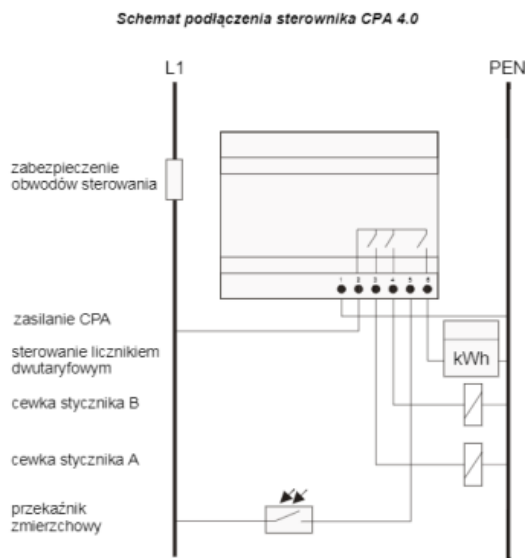
- wymiary (mm) długość 105 szerokość 90 (6 modułów) wysokość 75
- montaż na szynie DIN 35mm,
- zasilanie 230V +10/-20% 50Hz

- ilość wyjść sterujących 3, w tym jedno do sterowania licznikiem dwutaryfowym
- obciążalność prądowa wyjść 6A / 230V
- stopień ochrony IP 20
- temperatura otoczenia od -30°C do +50°C
- odporność na zanik zasilania min. 5 lat
- dokładność działania zegara 7×10^{-6} (20 sek. / miesiąc) [3].

Każdy użytkownik CPA 4.0n ma możliwość pełnej modyfikacji programu pracy sterownika. Przy pomocy wbudowanych przycisków można ustawić opóźnienie załączenia po zachodzie słońca, wyłączenia przed wschodem słońca oraz godziny załączenia i wyłączenia niskiej taryfy (NT). Korekta załączenia i wyłączenia jest możliwa w przedziale od -120 min do +120 min. Można wprowadzić ruchomą przerwę nocną z możliwością jej blokady w dni wolne i święta. Wszystko to niezależnie dla wyjść A i B. Wewnętrzne liczniki czasu pracy oświetlenia pozwalają na ocenę stopnia zużycia źródeł światła. Sterownik może współpracować z dowolnym wyłącznikiem zmierzchowym. CPA 4.0n automatycznie zmienia czas z letniego na zimowy i odwrotnie. Zegar jest dostosowany do współpracy z oferowanymi programatorami PS-1 i PS-5rc. PS jest podobny w działaniu do pilota sprzętu RTV. Przy pomocy PS można dokonywać doraźnych zmian w nastawach sterownika jak również przy pomocy jednego naciśnięcia przycisku wprowadzić przygotowany wcześniej kompletny program. Pamięć pilota może pomieścić dziesięć różnych programów [3]. Jednak do zastosowań domowych przy zaprogramowaniu jednego programatora zakup pilota staje się przedsięwzięciem nieuzasadnionym finansowo. W oświetleniach, gdzie występuje wiele zegarów, nabiera to zasadności, a nawet potrzeby. Przykładem jest oświetlenie uliczne zainstalowane przy drogach w obrębie miast i gmin. Jest tu koniecznością ustawienie równomiernej godziny załączania i wyłączania oświetlenia.

SCHEMAT PODŁĄCZENIA ZEGARA ASTRONOMICZNEGO

W poniższym podpunkcie zostanie przybliżony schemat realizacji podłączenia sterownika w celu realizacji oświetlenia. Sterownik ten samoczynnie rozpoznaje czy podłączono do niego wyłącznik zmierzchowy oraz czy jest on sprawny. W przypadku niesprawności lub braku wyłącznika zmierzchowego na wyświetlaczu pojawi się informacja, ale sterownik pracuje nadal poprawnie przechodząc na sterowanie oświetleniem według tabeli wschodów i zachodów słońca. Na terenach o dużym zapyleniu lub w miejscach, gdzie trudno zapewnić bezawaryjną pracę wyłącznika zmierzchowego, urządzenie może pracować bez niego [3]. Na rysunku 5 został przedstawiony schemat podłączenia sterownika CPA 4.0n z możliwością sterowania taryfa nocną z podłączonym przekaźnikiem zmierzchowym.



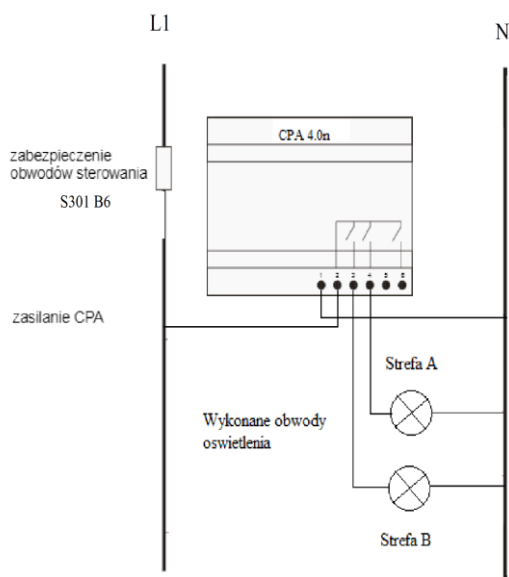
Rys. 5. Schemat podłączenia sterownika CPA 4.0n. Opracowanie własne na podstawie [3]

PRZYKŁADY REALIZACJI STEROWANIA OŚWIETLENIA DEKORACYJNEGO ZA POMOCĄ ZEGARA ASTRONOMICZNEGO

Jak zostało już wspomniane zegar astronomiczny doskonale spełnia swoje zadania w sterowaniu oświetleniu ulicznego. Niemniej jednak będzie idealny do zastosowania go w sterowaniu oświetleniu dekoracyjnego na zewnątrz i wewnątrz domu. Biorąc pod uwagę jego zalety, a przede wszystkim prawie bezobsługową pracę, możemy wykorzystać go we wszelkim oświetleniu, wszędzie tam, gdzie chcemy wyeksponować i podkreślić za pomocą oświetlenia pewnych elementów architektonicznych.

W wykonaniu autora zegar astronomiczny jednocześnie posłużył do sterowania oświetleniu dekoracyjnego na zewnątrz budynku, a także wewnątrz. Wykorzystując parametry zegara i jego obciążalności prądowe wyjść, realizację projektu można było ograniczyć do schematu przedstawionego na rysunku 6.

Zegar astronomiczny zainstalowany w rozdzielni głównej domu według własnego wykonania przedstawia Rysunek 7. Obok programatora jest widoczny także zegar czasowy realizujący także funkcję sterownika oświetlenia dekoracyjnego w obwodzie ozdób świątecznych. Oświetlenie te wykorzystywane jest jedynie w okresie świąt, dlatego zastosowanie zegara tego typu jest wystarczające do wygodnej obsługi i komfortowego użytkowania.



Rys. 6. Autorski schemat realizacji sterowania oświetleniem dekoracyjnym

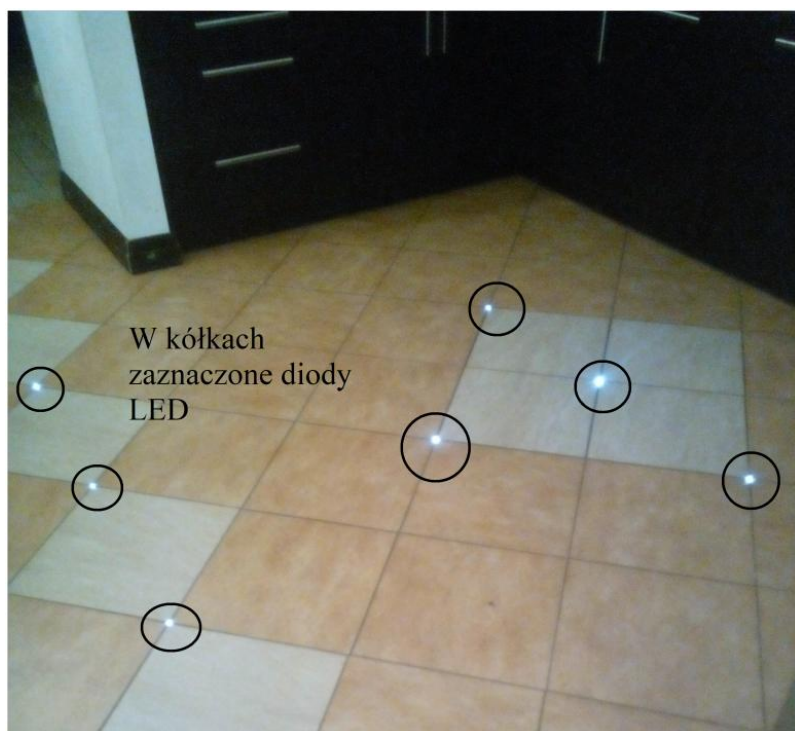


Rys. 7. Sposób zainstalowania zegara astronomicznego w rozdzielni głównej domu. Obok po lewej stronie zegar Pcm

W przedstawionym zastosowaniu zegara zostały wykorzystane jego podstawowe funkcje. Autorowi projektu zależało, aby za pomocą jednego zegara moż-

na było sterować niezależnie dwoma obwodami oświetlenia dekoracyjnego. Uzyskano to dzięki posiadaniu przez zegar wyjść strefy A oraz strefy B, które możemy niezależnie zaprogramować za pomocą przycisków na zegarze. Dodatkowym atutem jest posiadanie wyjść z obciążalnością do 6A. W przedstawionym przypadku jest to wystarczające, i nie było konieczności zastosowania zabezpieczeń obwodowych. Wystarczyło zastosować na zasilaniu sterownika zabezpieczenie typu S301 B6, czyli o wartości 6A.

Kolejną ważną kwestią było ustawienie zegara. Strefa A zarezerwowana na oświetlenie dekoracyjne wewnątrz domu. Ma ono za zadanie oświetlać delikatnie pomieszczenie przez całą noc przez cały rok. Oświetlenie te zostało zainstalowane w płytkach podłogowych w holu. Przedstawia to rys. 8 z zaznaczeniem diod LED jako oświetlenie punktowe.



Rys. 8. Realizacja oświetlenia dekoracyjnego w strefie A. W kółkach zaznaczone są punkty montażu diod LED

Realizacja oświetlenia w strefie B została wykonana jako oświetlenie dekoracyjne na zewnątrz budynku w podbitce dachu w szczycie budynku jako źródło światła zastosowano halogeny LED. Przedstawia to rysunek 9. W kółkach zaznaczone zostały źródła światła w postaci halogenów LED.



Rys. 9. Realizacja oświetlenia dekoracyjnego w strefie B. W kółkach zaznaczone są punkty montażu halogenów LED

W strefie B autorowi zależało, aby oświetlenia załączyło się po zachodzie słońca, ale z przerwą nocną od godziny 23:00 do godziny 6:00 przez cały rok. Wynika to z przyczyn ekonomicznych i braku potrzeby oświetlenia w godzinach nocnych poza wskazanym wcześniej czasem. Jeśli chodzi o porę letnią to zegar automatycznie wstrzymuje załączenie poranne dzięki jego wewnętrznemu kalendarzowi. Realizację takich ustawień przedstawia tabela 1. Uwzględniony tutaj został także czas ustawień dla strefy A. Wskazane ustawienia zostały wykonane na podstawie analizy instrukcji obsługi programatora CPA 4.0n.

Tab. 1. Spis nastaw dla zrealizowanych własnych potrzeb oświetlenia dekoracyjnego, opracowanie własne na podstawie [3]

Spis nastaw dla poszczególnych stref dla zegara CPA 4.0n		
Opis nastawy dla stref A i B	Strefa A z wybranym ustawieniem	Strefa B z wybranym ustawieniem
załączenie po zachodzie słońca wg kalendarza (możliwa korekta w minutach od -120 do +120)	P1-1 : +30	P2-1 : +30
wyłączenie przed wschodem słońca (j.w)	P1-2 : -30	P2-2 : -30
początek przerwy nocnej dla strefy	P1-3 : 00:00	P2-3 : 23:00
koniec przerwy nocnej	P1-4 : 00:00	P2-4 : 06:00
średni czas trwania przerwy nocnej- dobierany automatycznie	P1-5 : -----	P2-5 : -----

Przedstawione w tabeli 1 ustawienia wynikają z indywidualnych potrzeb użytkownika. Należy zaznaczyć, iż zegar astronomiczny umożliwia różne niezależne nastawy dla stref A i B. Co sprawia, że może on zastąpić w jednej obudowie dwa oddzielne zegary czasowe z podłączonymi osobnymi czujnikami zmierzchu. Jak łatwo jest zauważyć sprawia to ułatwienie montażu, a zarazem upraszcza układ w sterowaniu niezależnym dla osobnych obwodów oświetlenia.

WNIOSKI

Celem artykułu było przedstawienie różnych rozwiązań sterowania oświetleniem dekoracyjnym. Zostały przedstawione sposoby najprostsze i podstawowe w zastosowaniach oraz sposoby wymagające większego zaangażowania oraz wiedzy technicznej instalatora. Biorąc pod uwagę wygodę realizacji sterowania oświetlenia dekoracyjnego nie rozpatrywano kosztów montażu i eksploatacji przedstawionych rozwiązań. Szczególnym celem było przedstawienie zegarów astronomicznych realizujących prawie bezobsługowe sterowanie oświetleniem podając przykłady będące projektem i realizacją autora artykułu. Na podstawie własnych wniosków można stwierdzić, iż zastosowanie programatora astronomicznego jest najwygodniejszą formą sterowania. Możemy go rozbudować dodatkowo o czujnik zmierzchowy, dostosowując całą instalację do własnych potrzeb. Możemy również zastosować kombinację zegarów programowalnych czasowo z astronomicznymi, wówczas zyskujemy pełną elastyczność w sterowaniu oświetleniem. Wymaga to jednak odpowiedniej wiedzy technicznej i umiejętności w tej dziedzinie. Zainteresowanych takimi rozwiązaniami odsyłam do analizy instrukcji obsługi urządzeń takiego typu, gdyż wykonanie samej instalacji jest połową sukcesu, pozostaje jeszcze odpowiednie zaprogramowanie zegara w celu realizacji określonego i odpowiedniego sterowania oświetleniem nie tylko dekoracyjnym.

LITERATURA

- [1] Instrukcja obsługi urządzenia CLARUS Model WS-8015
- [2] www.rabbit.pl
- [3] Instrukcja obsługi zegara astronomicznego CPA 4.0n

OPRACOWANIE TECHNOLOGII KONDENSATORÓW CIENKOWARSTWOWYCH NA PODŁOŻU BIOKOMPATYBILNYM

WSTĘP

Od wielu lat występuje duże zapotrzebowanie na innowacyjne techniki diagnozowania i leczenia pacjentów w sposób skuteczny oraz nieinwazyjny. Podobieństwo procesów metabolicznych i struktur na poziomie komórkowym zwierząt do ludzi, niemożność przeprowadzania badań oraz testowania leków na człowieku, doprowadziło do wykonywania wielu nieetycznych eksperymentów na zwierzętach. Rozwój wyspecjalizowanych urządzeń elektronicznych otworzył drogę nowym metodom diagnostyki medycznej. Zobrazowanie oraz zrozumienie procesów zachodzących na poziomie komórkowym pod wpływem związków toksycznych i farmakologicznych, a także zjawisk fizycznych, umożliwiły stworzenie nowych metod leczenia na nieuleczalne dotąd choroby, takich jak badania oparte na analizie pomiarów impedancji [1], [2].

Praca została w całości poświęcona zagadnieniom łączącym elektronikę i biologię oraz tematyce związanej z testowymi podłożami wykorzystywanymi w pomiarach za pomocą systemu ECIS[®] (ang. Electric Cell Substrate Impedance Sensing). System ten służy do monitorowania funkcji życiowych komórek w czasie rzeczywistym *in vitro*, za pomocą pomiaru impedancji oraz analizy zmian parametrów elektrycznych hodowli komórkowej. Ponadto, w niniejszej pracy przedstawione zostały wyniki hodowli komórek odzwierzęcych fibroblastów mysich i małpich oraz hodowli komórek nowotworowych czerniaka pochodzenia ludzkiego.

Priorytetowym założeniem pracy było wykonanie wysokiej jakości zastępczych podłoży testowych dla komercyjnych płytek systemu ECIS[®], zawierających cienkowarstwowe kondensatory grzebieniowe z niklu.

TECHNIKA MONITOROWANIA IMPEDANCJI KOMÓREK

BUDOWA SYSTEMU ECIS[®] I METODA POMIARU

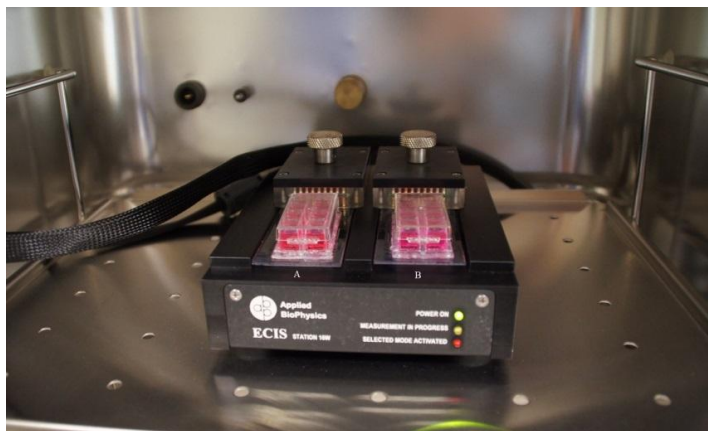
Jedną z wykorzystywanych metod pomiaru impedancji komórek w czasie rzeczywistym poza organizmem ludzkim, jest system ECIS[®]. Pozwala on na monitorowanie całego cyklu życiowego komórek za pomocą pomiaru i analizy wartości impedancji. System wykorzystywany jest szczególnie jako środek za-

¹ Politechnika Lubelska, WEiI, aleksandra.wilczynska9@gmail.com

² Politechnika Lubelska, WEiI, dawid.adrian.zarzeczny@gmail.com

stępczy dla praktykowanych eksperymentów na zwierzętach, badań inwazyjnego charakteru komórek nowotworowych oraz do wynajdowania składu nowych leków [1].

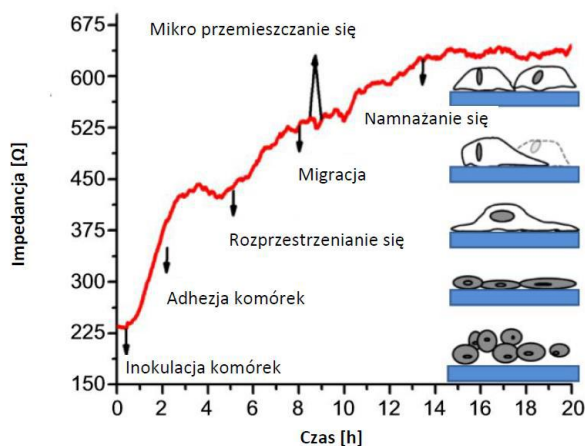
System ECIS[®] zbudowany jest z dwóch ultracienkich złotych elektrod umieszczonych na podłożu z poliwęglanu LexanTM lub PET. Komórki wraz z medium hodowlanym nanoszone są bezpośrednio na powierzchnie złotych elektrod. Płytkę zbudowaną jest w ten sposób, aby można było ją umieścić w specjalnej aparaturze pomiarowej w celu przeprowadzenia pomiarów impedancji. Jednakże sama stacja pomiarowa nie zapewnia odpowiedniego środowiska do hodowli komórek, dlatego też całość umieszczona jest w specjalnym inkubatorze zapewniającym optymalne warunki hodowlane [3].



Rys. 1. Stacja pomiarowa systemu ECIS[®] znajdująca się w inkubatorze

POMIAR IMPEDANCJI KOMÓREK ŻYWYCH

Badania rozpoczynają się od naniesienia samej pożywki hodowlanej na powierzchnie elektrod. Dopiero po sprawdzeniu szczelności dołków (pojemników na komórki wraz z medium) oraz weryfikacji połączenia z aparaturą pomiarową, pożywka usuwana jest z powierzchni elektrod. Wówczas przystępuje się do umieszczenia na płytkach docelowej mieszanki zawierającą hodowlę komórkową wraz z odpowiednią dla niej pożywką. W ujęciu badań parametrów elektrycznych komórek stają się one izolatorami zwiększającymi impedancję. Rozrost komórek warunkuje wzrost rezystancji, tym samym podczas rozrostu hodowli oraz zagnieżdżeniu się jej na powierzchni elektrod, prąd natrafia na opór, który jest zależny od ilości komórek oraz ich adhezji względem podłoża [4]. Na rysunku 2 przedstawiono typową charakterystykę wzrostu impedancji proporcjonalną do kolejnych etapów wzrostu komórek.



Rys. 2. Zmiany zależności impedancji od czasu podczas rozrostu hodowli komórkowej [5]

TECHNIKA OSADZANIA CIENKICH WARSTW METALU I LITOGRAFII

TECHNIKA OSADZANIA CIENKICH WARSTW METALU

Właściwości adhezyjne, rezystancja, skład chemiczny oraz odporność na naprężenia mechaniczne są cechami, na które najbardziej należy zwrócić uwagę podczas wyboru materiału, który ma posłużyć do uzyskania pożądanej cienkiej warstwy metalu. Wykorzystanie surowców będących dobrymi przewodnikami prądu, umożliwia otrzymanie połączeń tworzących układy elektroniczne [6].

Jednakże metoda napylenia warunkuje właściwości uzyskanej powierzchni. Jednym z najpopularniejszych rodzajów osadzania cienkiej warstwy metalu jest proces uzyskania metalizacji z zewnętrznego źródła materiału, tzw. targetu. Do tego rodzaju procesu zalicza się metodę osadzania z fazy lotnej, w której wykorzystane mogą być również materiały niebędące półprzewodnikami [6].

Podczas uzyskiwania warstwy metalizacji zachodzą reakcje chemiczne oraz fizyczne. Najkorzystniejszą reakcją chemiczną jest reakcja heterogeniczna mająca miejsce bezpośrednio na powierzchni podłoża, dzięki czemu uzyskana warstwa ma dobre właściwości przylegające oraz jednolitą i jednorodną strukturę. Natomiast zachodzące procesy fizyczne można podzielić na trzy etapy:

- podgrzanie źródła materiału,
- przeniesienie wybitego materiału,
- utworzenie warstwy metalizacji.

Rozpylanie magnetrone jest jedną z najpopularniejszych technik PVD (ang. *Physical Vapour Deposition*). Dzięki rozpylaniu w polu magnetycznym droga przepływu elektronów swobodnych zostaje wydłużona. Podczas tego procesu atomy pod wpływem energii kinetycznej i cząstek gazu szlachetnego odrywają się targetu. Zaletą tego procesu jest możliwość uzyskania struktury o jednolitej grubości. Minusem natomiast zanieczyszczenie całej komory wybi-

tymi atomami oraz nadmiernie zużytym źródłem materiału. Na rysunku 3 przedstawiony został ideowy schemat komory próżniowej wykorzystywanej do napyłania techniką magnetronową [6].

TECHNOLOGICZNY PROCES ODWZOROWANIA KSZTAŁTÓW

W celu uzyskania precyzyjnych wzorów, które wyznaczają obszar domieszkowania bądź wewnętrznych połączeń na podłożu, stosuje się wiele rodzajów litografii. Najczęściej wykorzystywana jest fotolitografia UV. Istnieje tylko jedno kryterium podziału procesów odwzorowania i jest nim sposób trawienia uzyskanych warstw. Bezpośrednie trawienie warstw wykorzystuje emulsję światłoczułą oraz wiązkę jonową. Natomiast drugi rodzaj trawienia dzieli się na dwa sposoby: metodę substratyną oraz addytywną.

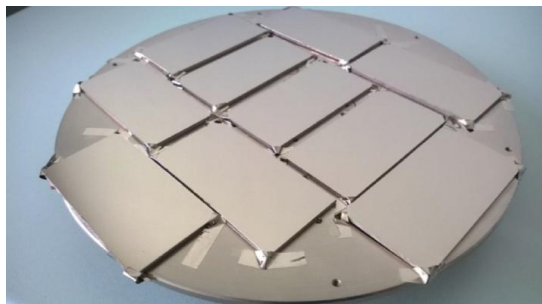
Druk kontaktowy jest najchętniej wykorzystywaną techniką fotolitografii. Cały proces rozpoczyna się od naniesienia emulsji światłoczułej na powierzchnię płytki. Następnie na jej powierzchni zostaje dopasowana i dociśnięta maska technologiczna zawierająca pożądaną wzór układu scalonego. Na koniec całość zostaje naświetlona światłem ultrafioletowym [6].

TECHNOLOGIA KONDENSATORÓW CIENKOWARSTWOWYCH Z NIKLU NA PODŁOŻU POLIWĘGLANOWYM

OSADZANIE CIENKIEJ WARSTWY NIKLU

Najważniejszym czynnikiem przy wyborze materiału do zastosowań biomedycznych jest jego oddziaływanie na poddane eksperymentom komórki bądź substancje. Kluczową kwestie w tym przypadku odgrywa biokompatybilność warunkująca prawidłowe działanie danego surowca w żywym organizmie. Aczkolwiek materiały wykorzystywane w urządzeniach BioMEMS (ang. biomedical/biological microelectromechanical systems) nie muszą podlegać tak restrykcyjnym wymaganiom. Wystarczy, że nie podlegają korozji i rozpuszczeniu w temperaturze otoczenia oraz nie wykazują toksycznych właściwości. Dlatego też przed zastosowaniem materiału są one przebadane pod kątem tych kryteriów.

Przed przystąpieniem do procesu napyłania zostały wycięte prostokątne płytki z poliwęglanu (PC) odpowiadające rozmiarom komercyjnej płytki systemu ECIS® o grubości 2 mm. Napyłanie niklowego materiału zostało wykonane w procesie rozpylania magnetronowego przy pomocy napyłarki NANO 36TM firmy Kurt J. Lesker znajdującej się w Katedrze Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Lubelskiej. Proces opiera się na parowaniu pojedynczych cząsteczek pochodzących z źródła materiału pod wpływem energii pola elektrycznego gazów szlachetnych. Podczas napyłania została zastosowana temperatura w przedziale od 60 do 70°C tak, aby nie uszkodzić materiału.

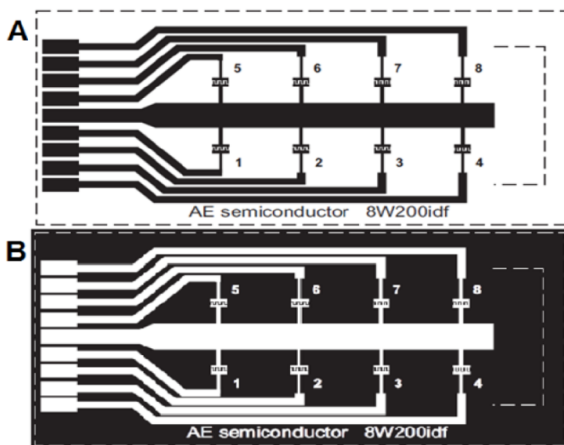


Rys. 3. Płytki z naniesioną 100 nm warstwą niklu

Pierwszym krokiem było zamocowanie wcześniej przygotowanych podłoży do obrotowego talerza oraz zainstalowano źródło niklu w komorze procesowej. Proces rozpylania magnetronowego został zainicjowany po uzyskaniu próżni wynoszącej 10^{-7} Torra. Na rysunku 3 zostały przedstawione zamocowane do obrotowego talerza poliwęglanowe płytki pokryte cienką warstwą niklu.

PROJEKT I WYKONANIE MASEK TECHNOLOGICZNYCH

Przed przystąpieniem do wykonania maski technologicznej zaprojektowany został kondensator umożliwiający przeprowadzenie badań parametrów elektrycznych komórek znajdujących się na jego powierzchni. Inspirując się komercyjną matrycą 8W10ide i stosując technologię mikroelektroniczną, wytworzono elektrody, której wymiary były zbliżone do wielkości komórki biologicznej. Elektroda została wykonana jako kondensator grzebieniowy, którego szerokość pojedynczego palca i odległości pomiędzy nimi wynosiła 200 μm .



Rys. 4. Maski technologiczne zaprojektowane w programie graficznym CAD, A – do wykonania metodą pozytywową, B – do wykonania metodą negatywową

W założeniach projektowych przewidziane zostały maski umożliwiające przeprowadzenie procesów fotolitografii dwiema metodami: pozytywową i negatywową. Na rysunku 4 przedstawione zostały zaprojektowane maski, których kształt, wymiary ścieżek doprowadzających i pól kontaktowych oraz rozmieszczenie elektrod, zostały wymuszone rozkładem slotów aparatury pomiarowej oraz wymiarami komercyjnego podłoża.

TRAWIENIE EMULSJI ŚWIATŁOCZULEJ I WARSTWY NIKLU

Jednym z najważniejszych etapów w procesie odwzorowania kształtów jest proces trawienia. Dzięki temu zbędna warstwa materiału niepokryta fotorezystem zostaje usunięta. Podczas wykonywania trawienia należy pamiętać, aby nie usunąć pożądanej, utwardzonej części emulsji oraz znajdującego się pod nią materiału. Odpowiednia temperatura i skład mieszaniny chemicznej kąpieli ma kluczowy wpływ na jakość trawienia. Przed zastosowaniem mieszaniny istotne było dokładne sprawdzenie jej składu pod kątem pierwiastków wchodzących w reakcje rozpuszczenia wykorzystanego podczas metalizacji materiału.

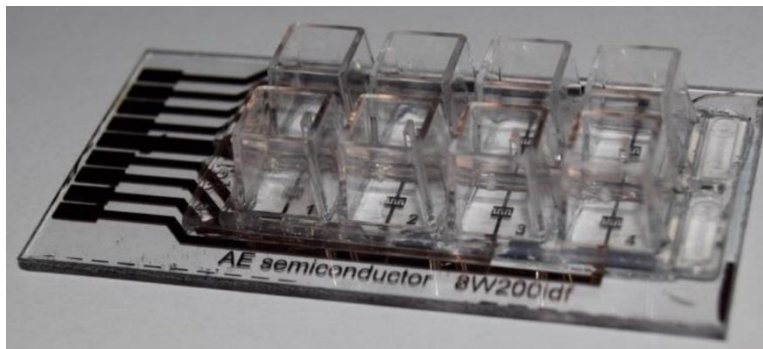
Pierwszym krokiem tej części procesu było naniesienie emulsji światłoczułej na wcześniej przygotowane płytki z cienką warstwą niklu, a następnie zastosowanie się do zaleceń producenta i pozostawienie płytek w ciemni. Następnie maski technologicznie z wcześniej zaprojektowanym i wykonanym wzorem elektrod, zostały dociśnięte do powierzchni płytek oraz poddane oddziaływaniu światła ultrafioletowego. Czas naświetlania był uzależniony od grubości warstwy emulsji i wahał się od 40 do 90 sekund. Po zakończeniu tej części procesu płytki zostały zanurzone w uniwersalnym wywoływaczu niezawierającym w składzie NaOH w celu wywołania wzoru. W kolejnym etapie płytki zostały poddane działaniu wytrawiacza, aby usunąć zbędną część materiału.

Podczas całego procesu najważniejsze było zachowanie stałych warunków, tak, aby utrzymać niezmienną szybkość trawienia oraz utrzymać powtarzalność środowiska dla kolejnych serii płytek. W tym celu utrzymywana była stała temperatura procesu.

MONTAŻ POJEMNIKÓW NA KOMÓRKI I CZYSZCZENIE PODŁOŻY Z KONDENSATORAMI

Ostatnim etapem całej sekwencji procesów mikroelektronicznych było umieszczenie na wcześniej wytrawionych podłożach pojemników (tzw. studzienki) na komórki wraz z medium hodowlanym. W celu zamocowania takich studzienek na elektrodach, zastosowany został biokompatybilny silikon. Każda z ośmiu studzienek miała objętość 600 μl , czyli taką samą jak studzienki komercyjnych płytek systemu ECIS[®]. Na każdą studzienkę przypadał jeden kondensator grzebieniowy.

Gotowe struktury przedstawione na rysunku 5 zostały poddane bakteriobójczej sterylizacji światłem UV, w celu uniknięcia wpływu niepożądanych czynników podczas eksperymentu.



Rys. 5. Gotowe struktury niklowe z 8 pojemnikami

HODOWLA KOMÓRKOWA

WYKORZYSTANE PODCZAS BADAŃ KOMÓRKI

Wszystkie opisane poniżej linie komórkowe pochodzą z Amerykańskiej Kolekcji Hodowli Komórkowej ATCC®. Były one przechowywane zgodnie z zaleceniami ekspertów oraz stosowano dedykowaną im pożywkę hodowlaną. Badania zostały przeprowadzone w Katedrze Fizjologii Człowieka na Uniwersytecie Medycznym w Lublinie przez upoważnionych do tego pracowników.

Macierzysty szczep L-929 jest pierwszym uzyskanym szczepem, którego ciągłość hodowli udało się ustanowić. Fibroblasty pochodzą z tkanki tłuszczowej 100-dniowego, zdrowego samca myszy. Szczep po raz pierwszy został pobrany w 1948 roku techniką kapilarną. Podstawową pożywką dla tej linii komórkowej jest 10% Eagle MEM wraz z końską surowicą płodową stosowaną w celu uzyskania kompletnego podłoża wspierającego wzrost komórek [7].

Linia komórkowa fibroblastów małpich VERO po raz pierwszy została pobrana w 1962 roku z nerki dorosłej afrykańskiej małpy zielonej. Podczas procesu pasażowania wykorzystuje się 10% MEM wraz z surowicą płodową bydlęcą [7].

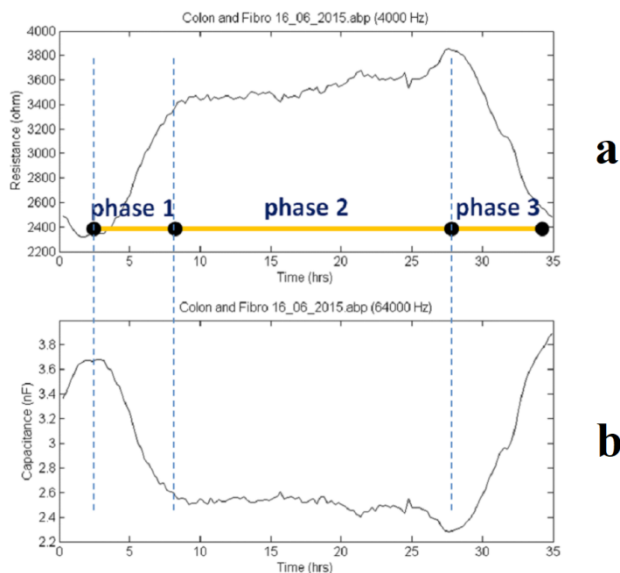
Linia komórkowa czerniaka A375 została pobrana z tkanki skórnej kobiety chorej na nowotwór – czerniaka. Każda komórka zawiera 9 chromosomów markerowych. W tym przypadku eksperci zalecają zastosowanie medium hodowlanego DMEM z dodatkiem surowicy bydlęcej [7].

BADANIE PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH KOMÓREK W SYSTEMIE ECIS®

Badania przeprowadzane za pomocą aparatury ECIS® mogą zostać podzielone na trzy fazy, w których badane są trzy parametry elektryczne, takie jak: impedancja, rezystancja i pojemność.

Rezystancja elektryczna mierzona jest na podstawie ilości zagnieżdżonych komórek na powierzchni elektrody. Rozrost hodowli powoduje ograniczony przepływ prądu elektrycznego, w efekcie czego następuje wzrost rezystancji.

Szybkość, z jaką elektroda zostaje pokryta komórkami, jest proporcjonalna do wzrostu rezystancji – co zostało przedstawione na rysunku 6a.



Rys. 6. Wyniki pomiaru: a – rezystancji dla częstotliwości 4 kHz, b – pojemności dla częstotliwości 64 kHz

Faza I: Proces, w którym wprowadzone na powierzchnię elektrod komórki przyklejają się do ich powierzchni. W tej fazie hodowla wzrasta oraz namnaża się.

Faza II: Stabilizacja hodowli komórkowej, polegająca na niezmienniejącej się ilości jednostek komórkowych.

Faza III: Obumarcie komórek, które jednocześnie tracą właściwości adhezyjne względem podłoża.

Natomiast w przypadku pomiaru pojemności, który ma taki sam przebieg jak pomiar rezystancji, występuje proporcjonalny spadek pojemności do pokrycia elektrody (rys. 6b). Przedstawione wykresy zostały opracowane w oparciu o wyniki badań przeprowadzonych na komercyjnych płytkach ze złota systemu ECIS®.

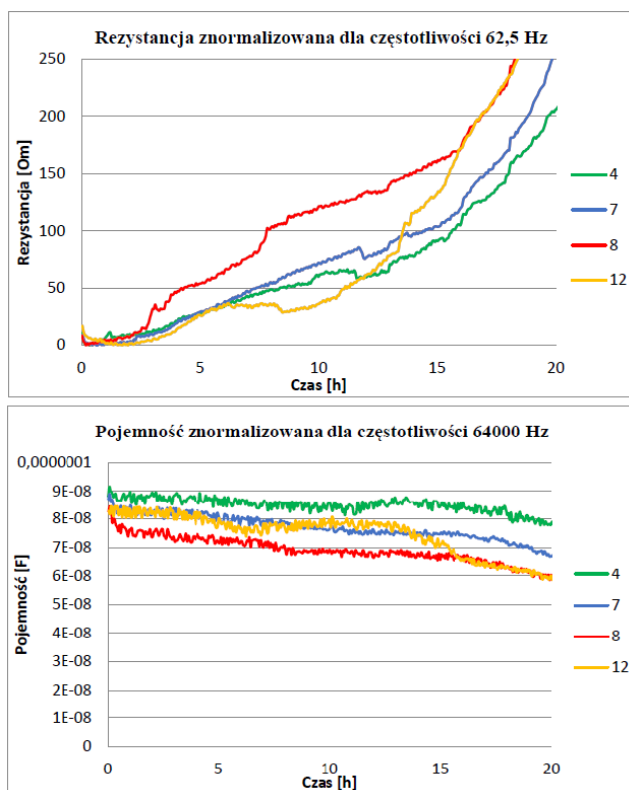
WYNIKI POMIARÓW ELEKTRYCZNYCH HODOWLI KOMÓRKOWEJ NA KONDENSATORACH Z NIKLU

HODOWLA FIBROBLASTÓW MYSICH L-929

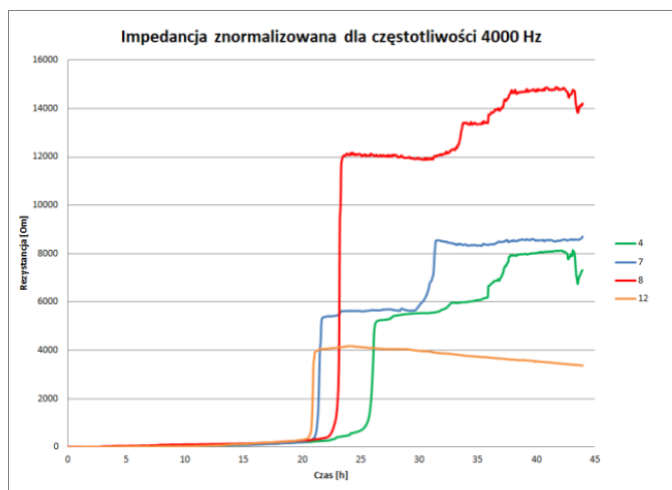
Był to pierwszy przeprowadzony eksperyment na podłożach niklowych. Podczas badania zebrane zostały wyniki trzech parametrów dla częstotliwości w zakresie 62,5Hz – 64kHz. Eksperyment przeprowadzono zgodnie z procesem

pasażowania komórek, tzn. przed wprowadzeniem hodowli na powierzchnie elektrody, były one poddane oddziaływaniu samego medium przez 24 godziny.

Badania trwały 43 godziny, jednakże jedynie wyniki z pierwszych 20 godzin nadają się do interpretacji. Zostały one znormalizowane i przedstawione na wykresach. Dla rezystancji i impedancji każdy odczytany parametr został oznaczony jako punkt w omach [Ω], natomiast dla pojemności w nanofaradach [nF]. Na rysunku 7 przedstawione zostały wyniki do 20 godziny eksperymentu. Wykonana hodowla przebiegała prawidłowo do 20 godziny eksperymentu, czyli komórki zachowywały się na powierzchni elektrod w sposób przewidywalny dla pierwszej fazy hodowli. Jednakże, jak widać na rysunku 8, po 20 godzinie eksperymentu, zostały zaobserwowane bardzo duże wysokie wartości impedancji, które początkowo zostały zinterpretowane jako ewentualne uszkodzenie elektrod. Dopiero po zakończeniu badania i obejrzeniu struktur pod mikroskopem zostało potwierdzone, że ze względu na zbyt słabe właściwości adhezyjne kondensatorów względem podłoża odkleiły się one od niego. Na rys. 9 przedstawiono uszkodzoną elektrodę.



Rys. 7. Rezystancja (góra) i pojemność (dół) mierzona za pomocą nikłowej matrycy



Rys. 8. Pomiar impedancji dla wybranych studzienek podczas 43 godzinnej eksperymentu



Rys. 9. Uszkodzona elektroda niklowa z widocznymi komórkami po 43 godzinnej eksperymentu

HODOWLA FIBROBLASTÓW MALPICH VERO I CZERNIAKA A375

Jednakże prawidłowe zachowanie się hodowli komórkowej na powierzchni kondensatorów niklowych skłoniło do poprawienia właściwości adhezyjnych struktur. Przystąpiono do ponownego przeprowadzenia całej sekwencji procesów mikroelektronicznych, dodatkowo oczyszczając płytkę poliwęglanową w myjce ultradźwiękowej przed osadzeniem na nią cienkiej warstwy niklu. Dodatkowo, aby nie narazić elektrod na utratę właściwości adhezyjnych, nie poddano ich 24-godzinnej działaniu samego medium.

Drugim eksperymentem przeprowadzonym na matrycach niklowych było naniesienie na pierwszą płytkę hodowli fibroblastów małpich VERO, natomiast na drugą hodowli komórek pochodzenia ludzkiego czerniaka A375. Eksperyment trwał 90 godzin i podczas jego trwania nie zaobserwowano wahań wartości

parametrów elektrycznych. Po zakończeniu eksperymentu struktury wraz z komórkami zostały obejrzone pod mikroskopem (rys. 10). Na podstawie zdjęć można stwierdzić, iż nie uległy one zniszczeniu oraz że mogłyby być stosowane w badaniach parametrów elektrycznych komórek żywych za pomocą systemu ECIS®.



Rys. 10. Niklowe kondensatory grzebieniowe po przeprowadzeniu 90-godzinnego eksperymentu z: a – hodowlą fibroblastów małpich VERO, b – hodowlą komórek czerniaka A375

LITERATURA

- [1] <https://biophysic.com>, zasoby z 17.03.2020
- [2] Rack H.J., Qazi J.I., *Titanium alloys for biomedical applications*, Materials Science and Engineering C, Nr 26/2006, 1269–1277
- [3] Stolwijk J. A., Matrougui K. i inni, *Impedance analysis of GPCR –mediated changes in endothelial barrier function: overview and fundamental considerations for stable and reproducible measurements*, Pflügers Archiv – European Journal of Physiology, Nr 469(10)/2015, s. 2193–2218
- [4] Prendecka M., Mlak R., Małecka-Massalska T. i inni, *Effect of exopolysaccharide from Ganoderma applanatum on the electrical properties of mouse fibroblast cells line L929 culture using an electric cel-substrate impedance sensing (ECIS) – Preliminary study*, Annals of Agricultural and Environmental Medicine, Nr 23(2)/2016, 293–297
- [5] Ramasamy S., Bennet D. i inni, *Drug and bioactive molecule screening based on abioelectrical impedance cell culture platform*, International Journal of Nanomedicine, Nr 9/2014, 5789–5809
- [6] Beck R.: *Technologia krzemowa*, PWN, Warszawa, 1991
- [7] <https://www.lgcstandards-atcc.org/products/all/CCL-1.aspx#culturemethod>, zasoby z 17.03.2020.