POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ACADEMIC JOURNALS
No 105 Electrical Engineering 2020

DOI 10.21008/j.1897-0737.2020.105.0008

Mateusz SZYMKOWIAK, Karol BEDNAREK*, Jarosław JAJCZYK*
Artur BUGAŁA*

KONCEPCJA STANOWISKA DO BADAŃ CZUJNIKÓW HALLA POŁOŻEŃ LINIOWYCH I KĄTOWYCH

W pracy przedstawiono koncepcję stanowiska dydaktycznego do badania czujników położeń liniowych i kątowych, działających na zasadzie efektu Halla. Opisano krótko teoretycznie funkcjonowanie czujników przemieszczeń i położeń liniowych oraz kątowych, szczególną uwagę skupiając na czujnikach Halla. Zamieszczono rozważania dotyczące oczekiwań i funkcji spełnianych przez budowane dydaktyczne stanowiska badawcze. Głównym członem pracy jest przedstawienie opracowanego i zbudowanego stanowiska laboratoryjnego do badania czujników położeń liniowych i kątowych. Zamieszczono założenia projektowe, związane z wymaganiami stawianymi dydaktycznym obiektom badawczym. Opisano projekt stanowiska badawczego, jego realizację oraz własności funkcjonalne. Przedstawiono także i skomentowano przykładowe badania przeprowadzone na wykonanym stanowisku pomiarowym.

SŁOWA KLUCZOWE: dydaktyczne stanowisko badawcze, pomoce dydaktyczne, diagnostyka podzespołów pojazdów, czujniki Halla, czujniki położeń liniowych i kątowych.

1. WPROWADZENIE

W procesach automatyzacji, sterowania czy kontroli pracy układów technicznych i ich podzespołów bardzo ważnym czynnikiem jest dostarczanie informacji o ich parametrach funkcjonalnych oraz o parametrach otaczającego środowiska. Do uzyskania tych informacji w oczekiwanej formie niezbędne jest wykorzystanie odpowiednich czujników wielkości elektrycznych oraz nieelektrycznych. Z uwagi na osiągnięcie najkorzystniejszych warunków funkcjonowania tych układów oraz potrzebę utrzymania niezawodnej ich pracy konieczna jest szeroka wiedza związana z budową, zasadą działania i własnościami funkcjonalnymi zarówno rozważanych układów, jak też zastosowanych w nich czujników, ale również z metodami weryfikacji prawidłowości ich pracy (diagnostyką techniczną) [1–5].

W procesach kształcenia technicznego bardzo ważnym elementem jest realizacja zajęć praktycznych, związanych z zapoznawaniem się przez ich uczestników z wszelkimi aspektami budowy, działania, wzajemnych interakcji, sposobami łą-

* Politechnika Poznańska

czenia czy metodami badania analizowanych systemów i ich podzespołów. W działaniach tych ważną rolę spełniają właściwie skonstruowane stanowiska badawcze. Dzięki poprawnemu, dogłębnemu zrozumieniu wszelkich niuansów funkcjonowania układów i ich elementów możliwe jest kształtowanie wyobraźni technicznej, pomysłowości, kreatywności i skrupulatności w działaniach technicznych osób, które zajmować się będą projektowaniem, wykonywaniem, wdrażaniem, konserwacją czy serwisowaniem stosowanych w różnych obszarach gospodarki oraz w życiu prywatnym układów i urządzeń technicznych (elektrycznych) [1–5].

W pracy zaprezentowano koncepcję i fizyczną realizację stanowiska laboratoryjnego do badań czujników położeń bądź przemieszczeń liniowych i kątowych, których działanie bazuje na efekcie Halla. Po opisaniu niuansów związanych z oczekiwaniami stawianymi stanowiskom badawczym oraz zarysu budowy i własności funkcjonalnych czujników położeń liniowych i kątowych (ze szczególnym uwzględnieniem czujników Halla) przedstawiono projekt, wykonanie i własności funkcjonalne zbudowanego stanowiska laboratoryjnego. Zamieszczono również wyniki przeprowadzonych przykładowych badań oraz podsumowano osiągnięte rezultaty.

2. DYDAKTYCZNE ASPEKTY BUDOWY I WŁASNOŚCI FUNKCJONALNYCH STANOWISK BADAWCZYCH

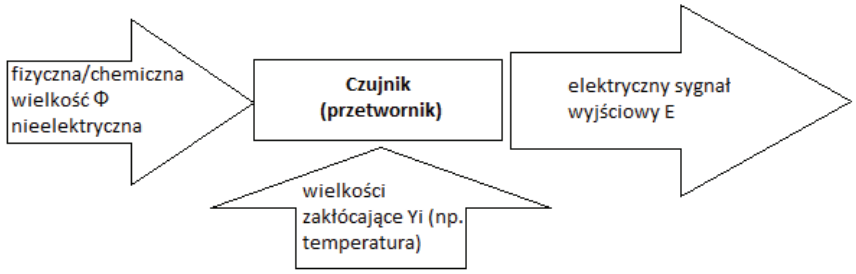
W działaniach dydaktycznych na uczelniach technicznych niezwykle ważnym elementem w procesie kształcenia jest realizacja zajęć praktycznych w postaci ćwiczeń laboratoryjnych. Na kierunkach elektrycznych rolą ich jest kształtowanie umiejętności łączenia obwodów elektrycznych, dokonywania pomiarów wielkości fizycznych elektrycznych oraz nieelektrycznych, planowania procesu przeprowadzania badań elementów i urządzeń, realizacji tych badań, praktycznego potwierdzania zdobytej wiedzy teoretycznej oraz jej poszerzania poprzez zrozumienie zależności funkcjonalnych w działaniu badanych obiektów, a także sprecyzowania wpływu różnych czynników na te własności funkcjonalne.

Dydaktyczne stanowiska badawcze są często bardziej skomplikowane i powinny być bardziej wnikliwie przemyślane niż stanowiska diagnostyczne, ponieważ poza stwierdzeniem prawidłowości pracy badanego obiektu powinny umożliwiać zobrazowanie różnych niuansów związanych z jego działaniem (wpływających na lepsze zrozumienie jego własności funkcjonalnych) oraz poszerzanie wiedzy związanej z analizowanym elementem bądź urządzeniem. Powinny także umożliwiać niezależne sprawdzanie wpływu różnych czynników zewnętrznych i wewnątrzukładowych (przy odrębnym ich oddziaływaniu) na zachowanie się badanego obiektu [1–4].

W procesie projektowania i realizacji opisanego w dalszej części pracy stanowiska badawczego rozważania te były inspiracją w dążeniu do osiągnięcia najkorzystniejszego rezultatu.

3. CZUJNIKI POŁOŻEŃ LINIOWYCH I KĄTOWYCH

W czujnikach wielkości nieelektrycznych mierzona wielkość fizyczna w przetworniku pomiarowym zamieniana jest na sygnał (napięcie, prąd) lub parametr (rezystancja, indukcyjność, pojemność, częstotliwość) elektryczny. Sposób powstawania sygnału elektrycznego przenoszącego informację o systemie lub jego środowisku zobrazowano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat powstawania sygnału elektrycznego przenoszącego informację o badanej wielkości nieelektrycznej [6]

Najczęściej mierzonymi wielkościami fizycznymi (dla których stosuje się czujniki pomiarowe) w obiektach technicznych (w przemyśle i pojazdach) są: prędkość obrotowa, temperatura, ciśnienie, przyspieszenie, położenie bądź przemieszczenie liniowe lub kątowe. W układach samochodowych będą to również ilość przepływającego powietrza, zawartość tlenu w spalinach, drgania wynikające z pojawienia się spalania detonacyjnego itp. [3–6].

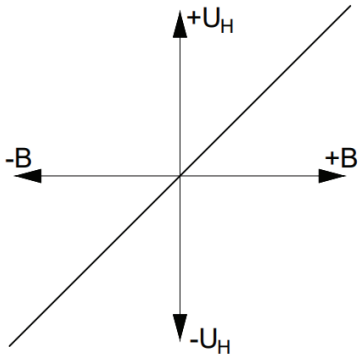
Bardzo ważnymi i często wykorzystywanymi w przemyśle, jak również w układach samochodowych są czujniki położeń lub przemieszczeń liniowych i kątowych. W zależności od charakteru mierzonego położenia (długość lub kąt, odległości duże czy małe, wymagana dokładność pomiaru itp.) można wśród nich wyróżnić [3–7]:

- czujniki rezystancyjne (potencjometryczne) – zarówno do pomiaru położeń liniowych, jak i kątowych, wykorzystywane do pomiarów średnich i dużych odległości (lub kątów), cechujące się mniejszymi dokładnościami, zawierające ruchome połączenia stykowe (co wpływa na mniejszą ich trwałość),
- czujniki pojemnościowe (często z kondensatorami trójelektrodowymi) – stosowane do pomiaru odległości małych i średnich, przy wykorzystaniu kondensatorów obrotowych (trymerów) wykorzystywane także do pomiaru przemieszczeń kątowych, bezstykowe, wymagające układu przetwarzającego pojemność na sygnał elektryczny (powszechnie stosowane są: dzielniki pojemnościowe, układy mostków prądu przemiennego bądź multiwibratory astabilne),

- czujniki Halla – do pomiaru przemieszczeń bądź odległości małych oraz średnich, liniowych i kątowych, bezstykowe, umożliwiające uzyskiwanie dużych dokładności,
- czujniki indukcyjnościowe z pierścieniem zwierającym (na rdzeniu ferromagnetycznym otwartym nawinięta jest cewka zasilana ze źródła prądu przemiennego oraz umieszczony ruchomy pierścień z materiału przewodzącego, niemagnetycznego) – wykorzystywane do pomiaru średnich oraz małych położeń liniowych i kątowych, bezstykowe, umożliwiające osiąganie dużych dokładności,
- czujniki indukcyjne transformatorowe (trzy cewki cylindryczne z ruchomym rdzeniem) – pomiary przemieszczeń bądź położeń liniowych średnich lub małych,
- czujniki wykorzystujące efekt Doplera – wykonywane jako ultradźwiękowe, działające w zakresie podczerwieni lub radarowe, wykorzystywane do pomiaru dużych i bardzo dużych odległości,
- selsyny – stosowane do pomiaru i odwzorowywania położeń kątowych, są układami elektromaszynowymi (maszyny indukcyjne pierścieniowe), umożliwiającymi osiąganie dużych dokładności pomiarowych.

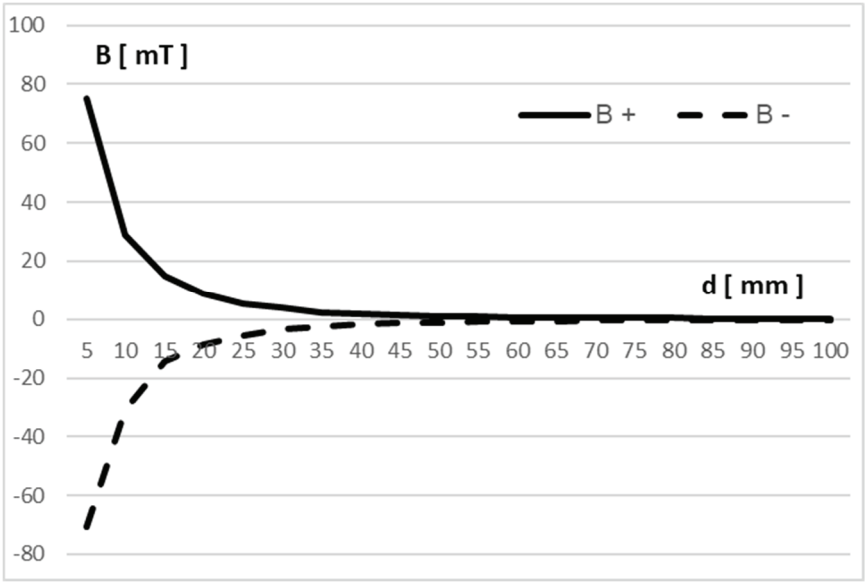
W pracy skupiono się na czujnikach położeń liniowych i kątowych, których zasada działania polega na wykorzystaniu zjawiska Halla.

Efekt Halla polega na powstaniu różnicy potencjałów (czyli napięcia Halla) w trzeciej płaszczyźnie płytki półprzewodnikowej, przez którą poprzecznie przepływa prąd (w wyniku jej zasilenia napięciem stałym z zewnątrz), a prostopadle do płytki oddziałuje na nią pole magnetyczne (wytworzone przez magnes trwały). Do odchylenia strumienia elektronów (a w efekcie wytworzenia się różnicy potencjałów) dochodzi w wyniku wpływu pola magnetycznego na poruszające się ładunki elektryczne (oddziaływania siły elektrodynamicznej). Wartość powstającego napięcia zależy od wartości indukcji magnetycznej B działającej na płytkę, a zmiana biegunowości oddziałującego na płytkę pola magnetycznego skutkuje zmianą biegunowości powstającego napięcia Halla U_H (rys. 2).



Rys. 2. Zależność napięcie Halla od wartości i kierunku oddziaływania indukcji magnetycznej B [6]

Napięcie powstające w czujniku Halla podczas zmian położenia magnesu trwałego oddziałującego na płytkę będzie miało inny przebieg zmienności U = f(d), ponieważ przy wzroście odległości od płytki maleje wartość oddziałującego na płytkę natężenia pola magnetycznego. Aby to potwierdzić i zobrazować dokonano pomiarów indukcji magnetycznej B wytwarzanej przez magnes trwały (wykorzystywany w zbudowanym stanowisku) w funkcji odległości d dla obu biegunowości magnesu, co przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zależność indukcji magnetycznej B jako funkcji odległości d od magnesu trwałego dla obu biegunowości magnesu

4. STANOWISKO DO BADAŃ CZUJNIKÓW HALLA POŁOŻEŃ LINIOWYCH I KĄTOWYCH

4.1. Założenia projektowe

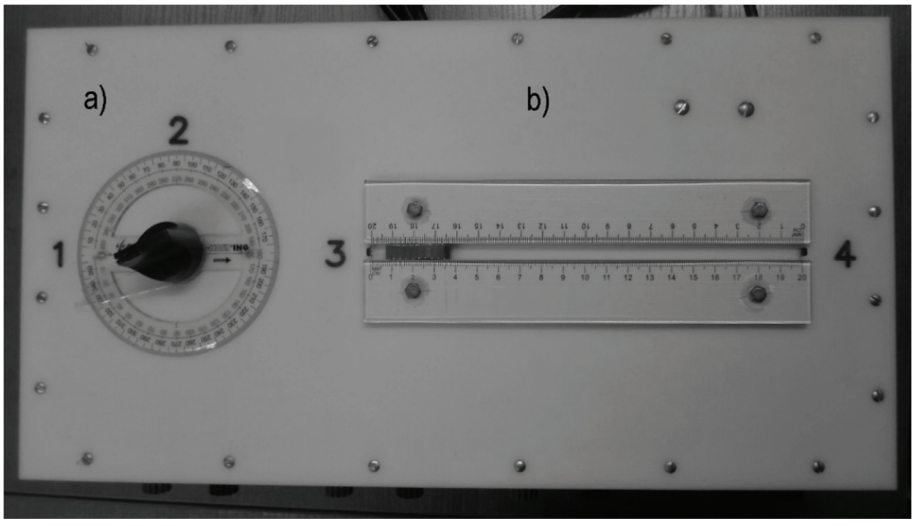
Zaprojektowane stanowisko laboratoryjne do badań czujników Halla położeń kątowych i liniowych powinno spełniać szereg wymagań, umożliwiających efektywne jego wykorzystywanie w celach dydaktycznych podczas laboratorium układów elektrycznych i elektronicznych w przemyśle i pojazdach [7]:

- stanowisko powinno mieć niezależne zasilanie z sieci, umożliwiające zasilenie (poprzez układy elektroniczne) czujników Halla,
- stanowisko powinno umożliwiać bezawaryjną pracę w długim okresie użytkowania,

- użyte do budowy stanowiska elementy powinny być wytrzymałe oraz wykonane z materiałów niemagnetycznych, aby nie fałszować wyników pomiarów,
- obwody czujników powinny być zabezpieczone przed przypadkowym lub umyślnym zwarciem, które doprowadziłoby do uszkodzenia czujnika, obwodu pracy czujnika lub układu zasilania czujników,
- czujniki powinny być oznaczone w miejscu ich występowania oraz w miejscu dokonywania pomiarów w jednakowy i czytelny sposób,
- stanowisko powinno umożliwiać powtarzalność pomiarów, precyzyjne przemieszczanie magnesu oraz obserwację jego ruchu względem czujników zarówno dla przemieszczeń liniowych, jak i kątowych,
- stanowisko powinno umożliwić obserwację zależności napięcia wyjściowego czujników Halla od biegunowości magnesu trwałego,
- układ badawczy powinien być tak skonstruowany, żeby podczas badań czujników Halla w przejrzysty sposób można było zrozumieć prawidłowości działania tych obiektów oraz analizować niuanse związane z ich funkcjonowaniem.

4.2. Opis projektu i wykonania stanowiska badawczego

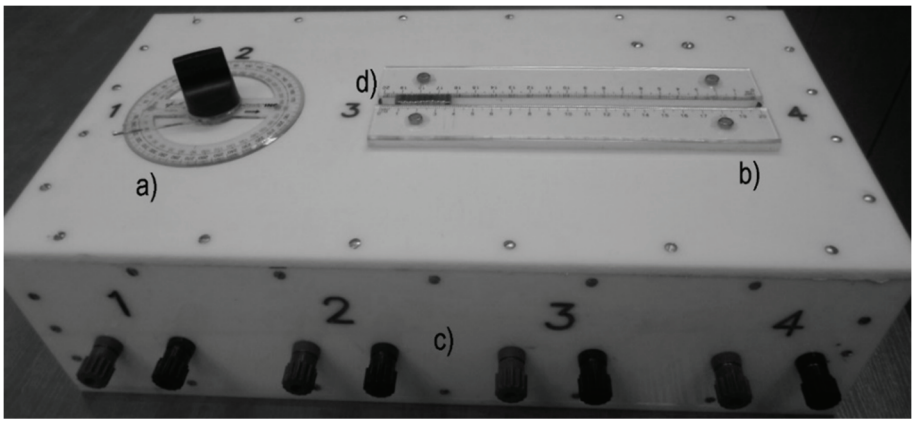
Stanowisko pomiarowe (rys. 4) składa się z dwóch głównych części: pomiaru przemieszczeń liniowych oraz badań przemieszczeń kątowych [7].



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe do badań czujników Halla (widok z góry) [7]:
a) pomiary przemieszczeń kątowych, b) pomiary przemieszczeń liniowych

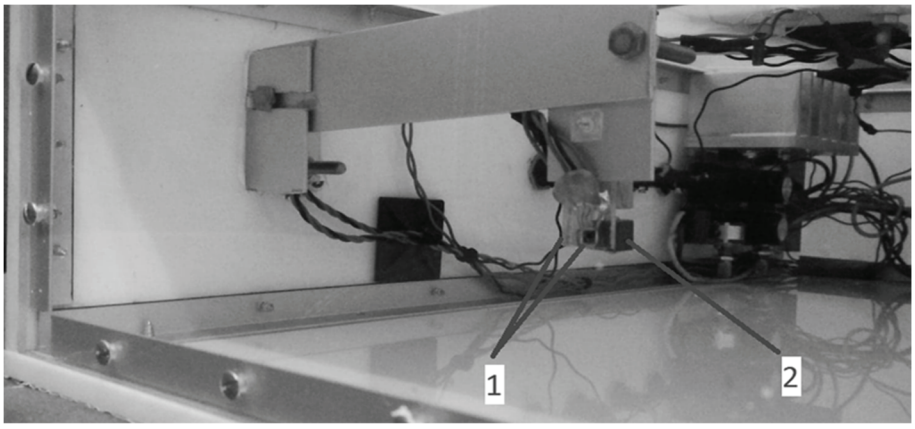
Stanowisko zostało wykonane z płyt PCV o grubości 6 mm. Płyty zostały docięte na wymiar oraz skręcone w całość z wykorzystaniem mosiężnych wkrętów

M3×12 oraz aluminiowych profili kątowych. Na górnej płycie służącej do wykonywania pomiarów znajduje się przykręcony na stałe kątomierz zegarowy z ruchomym ramieniem oraz dwie linijki skręcone z obudową poprzez drewniane listewki (w celu utworzenia prowadnicy magnesu). Na frontowej ścianie znajdują się cztery oznakowane pary zacisków pomiarowych, odpowiadające czujnikom w stanowisku. Całość zaprezentowano na rys. 5.



Rys. 5. Widok ogólny stanowiska pomiarowego [7]: a) kątomierz zegarowy, b) linijki tworzące prowadnicę ruchomego magnesu, c) zaciski pomiarowe, d) magnes trwały

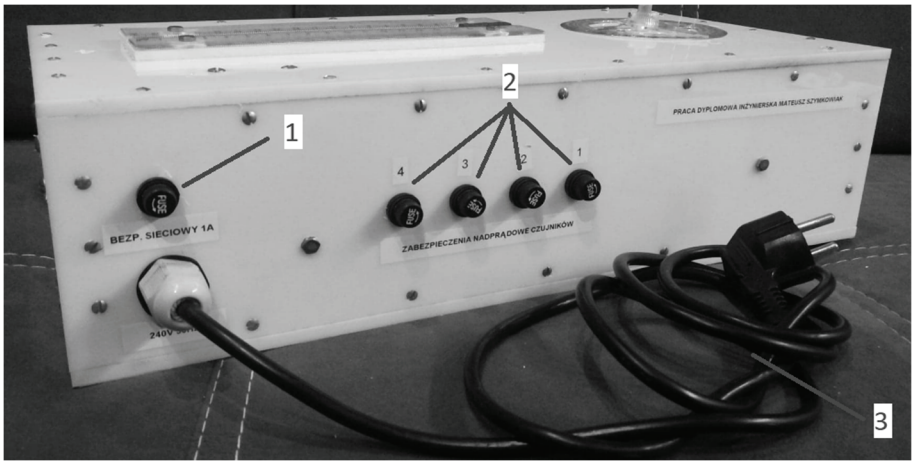
Jedna ze ścian bocznych obudowy jest przeźroczysta, aby umożliwić obserwacje zmian położenia kątowego magnesu dla przemieszczeń kątowych (rys. 6).



Rys. 6. Widok przez przeźroczystą płytę obudowy stanowiska [7]: 1 – czujniki Halla, 2 – ruchomy (obracający się) magnes trwały

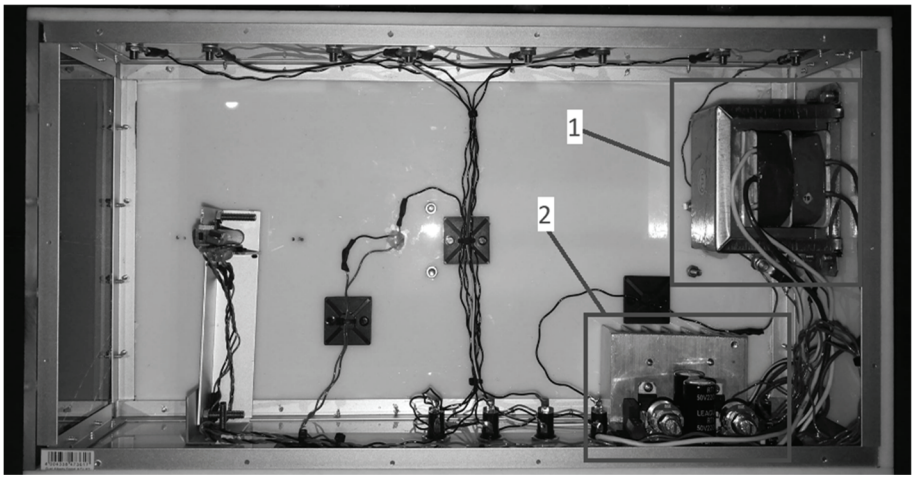
W celu zabezpieczenia przed przeciążeniami czujników, ich obwodów pomiarowych oraz układu zasilania na tyle obudowy zostały zamontowane gniazda bezpiecznikowe (rys. 7). Czujniki Halla są wrażliwe na przeciążenia prądowe, dlatego

jedyne urządzenia, jakie powinny być do nich podłączone, to aparatura pomiarowa (np. woltomierz, oscyloskop). Dla uzyskania ochrony przed wspomnianymi uszkodzeniami każdy z czujników zabezpieczony został bezpiecznikiem topikowym bezzwłocznym o wartości nominalnej 80 mA. Obwód zasilania zabezpieczony jest bezpiecznikiem topikowym zwłocznym o wartości nominalnej 1 A (rys. 7).



Rys. 7. Widok tyłu stanowiska badawczego [7]: 1 – główny bezpiecznik sieciowy (1 A), 2 – bezpieczniki (80 mA) poszczególnych czujników, 3 – przewód zasilający

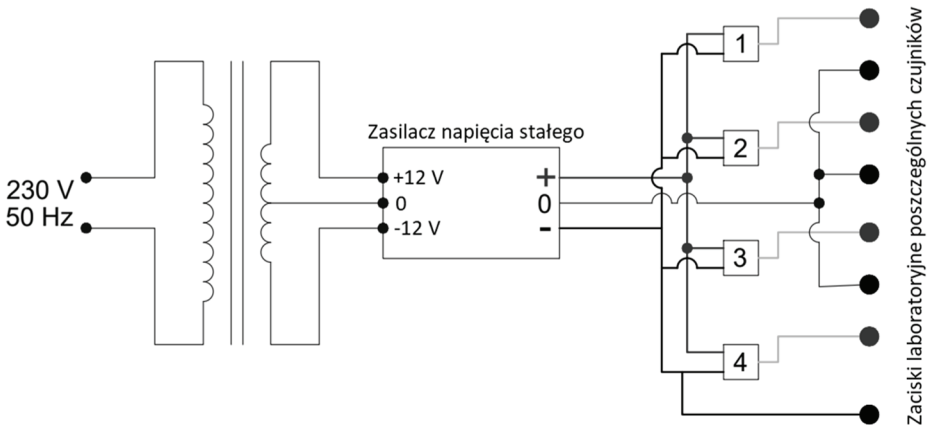
Chcąc zasilić stanowisko laboratoryjne z sieci 230 V, należało wykorzystać transformator symetryczny oraz stabilizowany zasilacz symetryczny napięcia stałego (rys. 8).



Rys. 8. Widok środka stanowiska [7]: 1 – transformator symetryczny 230/12 V, 2 – zasilacz symetryczny ±2,5 V

Wszystkie elementy składowe zostały połączone zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 9. Po podłączeniu układu do sieci należało wyregulować napięcie na zasilaczu symetrycznym napięcia stałego do wartości pożądanej przez czujniki użyte w stanowisku, tj. 5 V.

W przemysłowym wykonaniu czujników Halla napięcie na wyjściu ich układu formującego jest tak dobrane, że dla jednej biegunowości pola magnetycznego magnesu trwałego uzyskuje się wartości napięć z zakresu 0 ÷ 2,5 V, a dla drugiej z zakresu 2,5 ÷ 5 V (czujnik oznaczony numerem 4 na stanowisku pomiarowym). W rezultacie dla obu biegunowości pola magnetycznego uzyskuje się napięcie wyjściowe w zakresie 0 ÷ 5 V (czyli tylko wartości dodatnie – pierwsza ćwiartka układu współrzędnych). W celu uzyskania na zaciskach laboratoryjnych badanego czujnika dodatniego i ujemnego napięcia Halla (tak, jak są one generowane przez sam czujnik bez układu formującego) zostało wykorzystane dodatkowo napięcie zasilania ±2,5 V (aby przeskalować przesunięte przez układy formujące przemysłowych czujników zakresy napięciowe czujników Halla). Pomiary dokonywane są wówczas pomiędzy wyjściem sygnałowym czujników a wyprowadzeniem „GND" zasilacza. Umożliwiło to ukazanie rzeczywistej (zgodnej z teorią) zależności biegunowości napięcia wyjściowego czujnika Halla od zmian biegunowości oddziałującego pola magnetycznego (kierunku oddziaływania indukcji magnetycznej) magnesu trwałego (czujnik oznaczony numerem 3 na stanowisku pomiarowym).



Rys. 9. Schemat układu pomiarowego [7]: 1, 2, 3, 4 – poszczególne czujniki Halla wraz z widokiem wyprowadzeń ich sygnałów wyjściowych na zaciski elektryczne

W celu umożliwienia jak najdłuższego czasu pracy stanowiska moce zasilacza, jak i transformatora zostały kilkakrotnie przewymiarowane. Zestawienie elementów wykorzystanych do budowy stanowiska badawczego oraz jego kosztorys przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie użytych elementów i kosztorys stanowiska [7].

Element	Cena
[–]	[zł]
Obudowa, kątowniki	200
Zasilacz symetryczny DC	50
Transformator symetryczny	50
Przewody, gniazda bezpieczników, bezpieczniki	30
Wkręty i śruby mosiężne	20
Linijki i kątomierze zegarowe	20
Czujniki Halla	60
Gniazda laboratoryjne	64
Magnesy neodymowe	35
Farba	6
Oś stanowiska przemieszczeń kątowych	5
SUMA:	540

W wykazie zawartym w tabeli 1 wymieniono koszty elementów składowych, nie uwzględniono natomiast kosztów wykonania stanowiska (robocizny).

4.3. Własności funkcjonalne stanowiska badawczego

Zbudowane stanowisko umożliwia pomiar przemieszczeń liniowych dla dwóch różnych rozwiązań czujników Halla (z zakresem napięć dodatnich i ujemnych zgodnie z rzeczywiście powstającymi na elemencie Halla oraz z zakresem napięć przeskalowanym 0–2,5 V i 2,5–5,0 V w czujniku przemysłowym – adekwatnie do biegunowości oddziałującego pola magnetycznego ruchomego magnesu trwałego), jak również przemieszczeń kątowych w zakresie 180º (przy pomiarze z wykorzystaniem jednego czujnika) i w zakresie 360º (przy jednoczesnym pomiarze za pomocą dwóch czujników umieszczonych względem siebie pod kątem prostym). W przypadku czujników przemieszczeń kątowych obie charakterystyki zawierają napięcia dodatnie i ujemne (czyli rozwiązanie klasyczne) [7].

W celu rozpoczęcia pomiarów dokonywanych na stanowisku należy podłączyć je do zasilania z sieci 230 V, wykorzystując podłączony na stałe do stanowiska przewód widoczny na rys. 7. Po podłączeniu do sieci stanowisko jest gotowe do pracy, nie wymaga żadnych dodatkowych kalibracji.

Aby zbadać czujniki Halla przemieszczeń liniowych, należy podłączyć woltomierz do zacisków „3” lub „4” (rys. 5) oraz wybrać najkorzystniejszy z możliwych jego zakresów pomiarowych (maksymalna wartość napięcia mierzonego wynosi 5 V). Pomiar odbywa się poprzez umieszczenie w prowadnicy (pomiędzy dwoma linijkami) magnesu trwałego oraz odczytywaniu napięcia w zależności od ręcznej zmiany odległości magnesu od czujnika i biegunowości oddziaływania magnesu na czujnik Halla (rys. 4 oraz rys. 5). Jeśli w żadnym położeniu magnesu

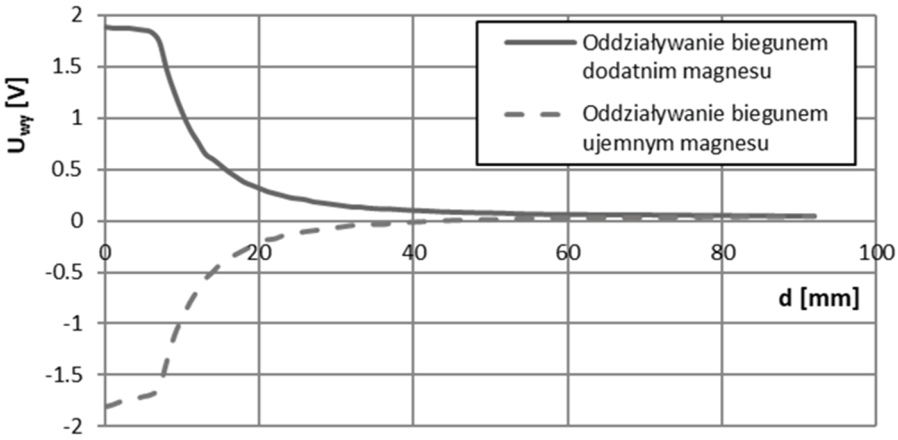
trwałego względem czujnika nie ma odczytów napięcia, to należy sprawdzić poprawność podłączenia woltomierza, a także sprawdzić stan bezpieczników umieszczonych z tyłu stanowiska (rys. 7). Czujnik nr „4" jest czujnikiem przemysłowym (wykorzystywanym do pomiarów położeń liniowych), w którym wartości napięć w zależności od odległości i biegunowości będą zawsze wartościami dodatnimi. Dla jednej biegunowości pola magnetycznego uzyskuje się wartości napięć z zakresu 0 do 2,5 V, a dla przeciwnej biegunowości osiąga się wartości napięcia w zakresie 2,5 do 5 V. W pozostałych czujnikach (oznakowanych jako 1 oraz 2 dla przemieszczeń kątowych, a także 3 dla przemieszczeń liniowych) autor wykorzystał do ich zasilania napięcie symetryczne (±2,5 V), dzięki czemu przy braku oddziaływania pola magnetycznego na czujnik napięcie na jego zaciskach wynosi 0 V. W efekcie dla jednej biegunowości pola magnetycznego uzyskuje się wartości napięć od 0 do 2,5 V, a dla drugiej biegunowości wartości ujemne w zakresie 0 do –2,5 V.

W celu zbadania czujników Halla przemieszczeń kątowych należy podłączyć woltomierz do zacisków „1" lub „2" (rys. 5). Pomiar odbywa się poprzez odczytywanie napięcia woltomierza w zależności od ręcznej zmiany położenia kątowego (co określoną wartość, np. o 10°) ramienia kątomierza zegarowego (rys. 5). Przy pomiarach położeń bądź przemieszczeń kątowych w zakresie 360° dokonuje się pomiarów napięć na obu czujnikach jednocześnie (dla każdego położenia kątowego ramienia kątomierza zegarowego). Kombinacja wartości i biegunowości napięć z obu czujników umożliwia jednoznaczne określenie położenia kątowego w całym zakresie kątów od 0° do 360°. Dodatkowo można obserwować aktualne położenie magnesu trwałego względem czujników poprzez okno inspekcyjne z boku stanowiska (rys. 6). Jeśli w żadnym położeniu magnesu trwałego względem czujnika nie ma odczytów napięcia to należy wykonać czynności sprawdzające analogicznie, jak dla części stanowiska do badań przemieszczeń liniowych.

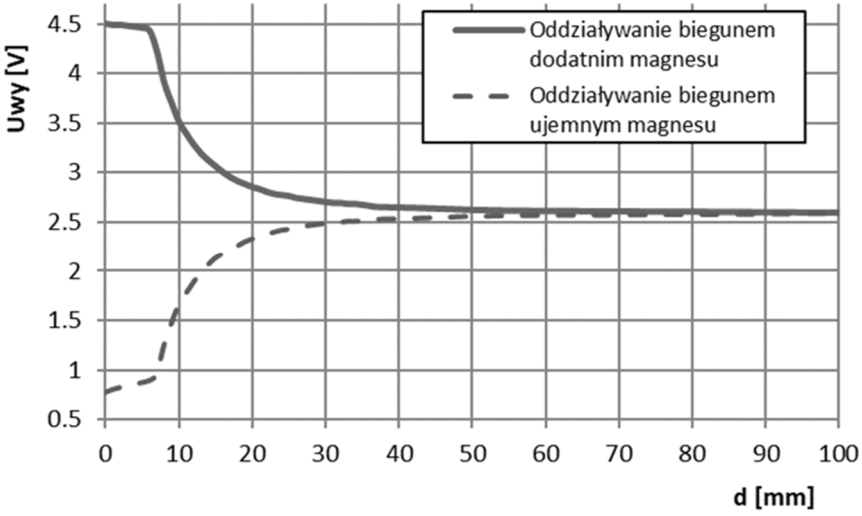
5. OPIS BADAŃ WYKONYWANYCH NA SKONSTRUOWANYM STANOWISKU I PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW

Badania wykonywane na zbudowanym stanowisku można podzielić na dwie części: badanie czujników Halla przemieszczeń liniowych oraz badanie czujników Halla przemieszczeń kątowych [7]. W pierwszej kolejności zajęto się badaniem czujników przemieszczeń liniowych. Pomiary realizowano za pomocą dwóch czujników oznakowanych jako „3" oraz „4". Czujnik „3" podłączony zgodnie ze schematem zamieszczonym na rys. 9 umożliwił obserwację zależności napięcia wyjściowego czujnika Halla U_{wy} od odległości d magnesu od czujnika oraz zależności biegunowości napięcia od biegunowości pola magnetycznego. Wyniki pomiarów zostały przedstawione w postaci charakterystyki $U_{wy} = f(d)$ na rys. 10.

Analogicznie do czujnika „3” zostały wykonane pomiary dla czujnika „4”, który jest czujnikiem przemysłowym. Zakres zmian jego napięcia w zależności od odległości i biegunowości magnesu trwałego jest przesunięty w obszar napięć dodatnich, a zatem napięcie zmienia się w zakresie 0-2,5 V dla jednej biegunowości magnesu oraz w przedziale 2,5-5,0 V dla drugiej biegunowości. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 11.



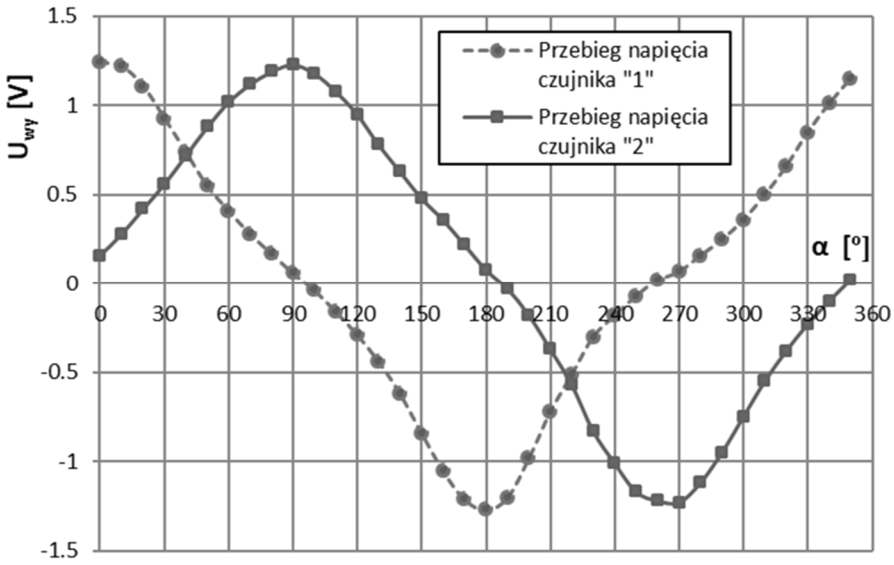
Rys. 10. Wykres zależności napięcia wyjściowego czujnika Halla U_{wy} jako funkcji odległości d magnesu od czujnika, przy uwzględnieniu biegunowości oddziałującego pola magnetycznego, dla czujnika „3”



Rys. 11. Wykres zależności napięcia wyjściowego czujnika Halla U_{wy} jako funkcji odległości d magnesu od czujnika, przy uwzględnieniu biegunowości oddziałującego pola magnetycznego, dla czujnika „4”

Analizując wyniki pomiarów oraz wykresy napięć dla obydwu czujników można zauważyć, że kształty przebiegów są niemal identyczne. Największe wartości uzyskano dla zerowej odległości pomiędzy czujnikiem a magnesem. Dla czujnika „3" przy oddziaływaniu dodatnim biegunem magnesu uzyskano napięcie wyjściowe czujnika Halla 1,88 V, natomiast oddziałując biegunem ujemnym osiągnięto wartość -1,81 V. Rozbieżności w wartościach napięcia wynikają z trudności w idealnym skalibrowaniu układu zasilającego, a dokładniej w idealnym ustawieniu wartości dodatniej (2,5 V) i ujemnej (-2,5 V) połówki napięcia zasilania (jego wypadkowa wartość wynosi 5 V). Pomijając te niewielkie uchyby przebiegi są prawidłowe. Użyteczny zakres pomiarowy położeń magnesu względem czujnika dla badanego stanowiska zawiera się w przedziale ±50 mm. Powyżej tej odległości zmiany wartości napięć są na tyle znikome, że byłyby trudne do przetworzenia przez sterownik oraz mało precyzyjne w wykorzystaniu praktycznym. Kształty przebiegów napięcia wyjściowego w funkcji odległości (położenia magnesu) dla czujników „3" oraz „4" wizualnie nie różnią się. Zmiana jaka między nimi występuje to różnica w biegunowościach napięcia (nieznaczne różnice w odpowiadających sobie wartościach bezwzględnych wynikają z dokładności w ustawieniach magnesu trwałego oraz z wyskalowania układu). W czujniku „4" wszystkie napięcia „przesunięte" są o +2,6 V. Dla braku oddziaływania pola magnetycznego napięcie w tym czujniku wynosi 2,59 V.

W drugiej części analiz funkcjonalności stanowiska zajęto się badaniem czujników Halla przemieszczeń kątowych. Pomiarom napięcia wyjściowego podlegały czujniki Halla oznaczone jako „1" oraz „2" połączone według schematu na rys. 9. Pomiary dokonywane były poprzez obrót ramienia kątomierza co 10º oraz odczyt napięć z woltomierzy. Czujnik „2" umieszczony został pod kątem prostym w stosunku do czujnika „1", przy czym dla kąta obrotu 0º magnes skierowany jest prostopadle do czujnika „1". W celu zobrazowania zmian napięcia wyjściowego czujników dla przemieszczeń kątowych wyniki pomiarów przedstawione zostały na rys. 12 w postaci wykresów zależności zmian napięć wyjściowych czujników Halla „1" oraz „2" jako funkcji położenia kątowego α magnesu trwałego względem czujników, czyli $U_{wy} = f(\alpha)$. Kąt obrotu α na wykresie odpowiadał aktualnemu położeniu magnesu trwałego względem płaszczyzny czujnika „2".



Rys. 12. Przebiegi napięć wyjściowych U_{wy} dla czujników Halla oznaczonych jako „1” oraz „2” w zależności od kąta obrotu α magnesu

Uzyskane przebiegi dla czujników „1” oraz „2” są do siebie bardzo zbliżone kształtem i przesunięte między sobą o 90º. Niewielkie odchyłki wartości odpowiadających sobie napięć czujników wynikają z niedostatecznie wysokiej precyzji ruchu magnesu, lecz stanowisko ma zadanie głównie dydaktyczne i niewielkie uchyby są akceptowalne, a przebiegi (przy uwzględnieniu zaakceptowanych uchybów) pokrywają się z wykresami teoretycznymi. Zastosowanie dwóch czujników umożliwia stworzenie czujnika przemieszczeń kątowych z zakresu 360º. Wykorzystanie tylko jednego czujnika nie pozwoliłoby osiągnąć takiego zakresu pomiarowego, gdyż różne, jednoznacznie odpowiadające kolejnym kątom wartości napięcia występują dla pojedynczego czujnika tylko w zakresie 180º. Jak wynika z teorii maksymalne napięcie na czujniku powinno występować w momencie prostopadłego oddziaływania magnesu na czujnik, a najmniejsze w momencie równoległego ułożenia magnesu względem czujnika (co jest widoczne na przebiegach z rys. 12) [7].

6. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie czujników stosowanych w przemyśle i pojazdach, ale przede wszystkim zaprojektowanie oraz zbudowanie stanowiska do badania czujników Halla przemieszczeń kątowych i liniowych.

Laboratoryjne stanowiska badawcze powinny być konstruowane w taki sposób, aby umożliwiały w przemyślanej formie przyswajanie jak najszerszych informacji teoretycznych, nabywanie umiejętności praktycznych, a także osiąganie dogłębnego zrozumienia w zakresie budowy, działania i wszelkich niuansów funkcjonowania, wdrażania, badania, jak również serwisowania analizowanych przez kształcone osoby układów bądź podzespołów.

W celu umożliwienia studentom realizacji badań oraz lepszego zrozumienia zasady funkcjonowania czujników Halla przemieszczeń liniowych i kątowych zbudowano stanowisko dydaktyczne do badania takich czujników. Cele, jakie postawione zostały wobec stanowiska, udało się w pełni zrealizować. Tematyka podjęta w pracy jest ważna, gdyż dzięki właściwemu zrozumieniu własności funkcjonalnych, a w konsekwencji poprawnej implementacji czujników w przemysłowych i motoryzacyjnych rozwiązaniach układów technicznych możliwe jest precyzyjne dostarczanie informacji na temat wszelkich stanów i wielkości fizycznych decydujących o prawidłowości działania obiektów. Dzięki poprawnemu zastosowaniu czujników można wpływać bezpośrednio na dokładność, efektywność, komfort czy bezpieczeństwo pracy urządzeń.

LITERATURA

[1] Bednarek K., Bałchanowski T., Aspekty dydaktyczne oraz techniczne projektu i budowy stanowiska do badań samochodowych układów zapłonowych, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, No 82, Poznań, 2015, s. 243-252.

[2] Bednarek K., Bałchanowski T., Educational and technical aspects of the design and construction of the test bench for testing the automotive ignition systems, in: Computer Applications in Electrical Engineering, edited by R. Nawrowski, Publishing House of Poznan University of Technology, vol. 13, Poznan, 2015, p. 197-208.

[3] Bednarek K., Bugała A., Budzińska N., Wielogórski M., Didactic means in knowledge and practical skills shaping in the technical education processes, ITM Web of Conferences, vol. 28, 01022-1 - 01022-2, 2019, DOI 10.1051/itmconf/20192801022.

[4] Bednarek K., Bugała A., Budzińska N., Wielogórski M., Stanowiska do badań i prezentacji funkcjonowania czujników prędkości obrotowej oraz położeń liniowych i kątowych, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, No 100, Poznań, 2019, s. 199-210, DOI: 10.21008/j.1897-0737.2019.100.0018.

[5] Jajczyk J., Bałchanowski T., Stanowisko laboratoryjne do badania układów zapłonowych sterowanych komputerowo, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, Issue 92, ISSN 1897-0737, 2017, s. 61-72.

[6] Czujniki w pojazdach samochodowych, Informatory techniczne BOSCH, WKŁ, Warszawa, 2002.

[7] Szymkowiak M., Koncepcja stanowiska do badań czujników Halla przemieszczeń liniowych i kątowych, praca dyplomowa inżynierska, Poznań, 2020.

CONCEPTION OF THE STAND FOR TESTING HALL SENSORS MEASURING LINEAR AND ANGULAR POSITIONS

The work presents the concept of a teaching stand for testing linear and angular position sensors operating on the basis of the Hall effect. Theoretically, the functioning of sensors measuring linear and angular position and displacement has been briefly described, focusing on Hall sensors. Considerations were given regarding expectations and functions fulfilled by the didactic research posts being built.. However, the main part of the work is to present a developed and constructed laboratory stand for testing linear and angular position sensors. Design assumptions related to the requirements for didactic research facilities were included. The design of the test stand, its implementation and functional properties are described. Exemplary tests carried out on the completed test stand were also presented and commented on.

(Received: 03.03.2020, revised: 17.03.2020)