

---

# WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH  
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

---

Klaudiusz KLARECKI\*

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów  
Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice

\* klaudiusz.klarecki@polsl.pl

## STANOWISKO DO BADANIA NAPĘDU INDRADRIWE® Z SILNIKIEM LINIOWYM INDRADYN L®

**Streszczenie:** W artykule opisano stanowisko laboratoryjne do badania własności napędu z elektrycznym silnikiem liniowym. Stanowisko badawcze składa się z: synchronicznego silnika liniowego IndraDyn L wraz z czujnikiem Halla (niezbędnym dla zapewnienia prawidłowej komutacji silnika), modułu mocy, modułu sterującego, systemu przewodnic tocznych z zintegrowanym liniałem pomiarowym oraz oprzyrządowania pomocniczego. Napęd IndraDrive może być konfigurowany, programowany, parametryzowany i diagnozowany zintegrowanym oprogramowaniem ramowym IndraWorks. Sterowanie ruchem napędu można realizować np. za pomocą wirtualnego panelu pod kontrolą programu IndraLogic. W artykule pokazano przebieg położenia, prędkości, przyspieszenia i skutecznego natężenia prądu zasilającego silnik w stanach przejściowych napędu.

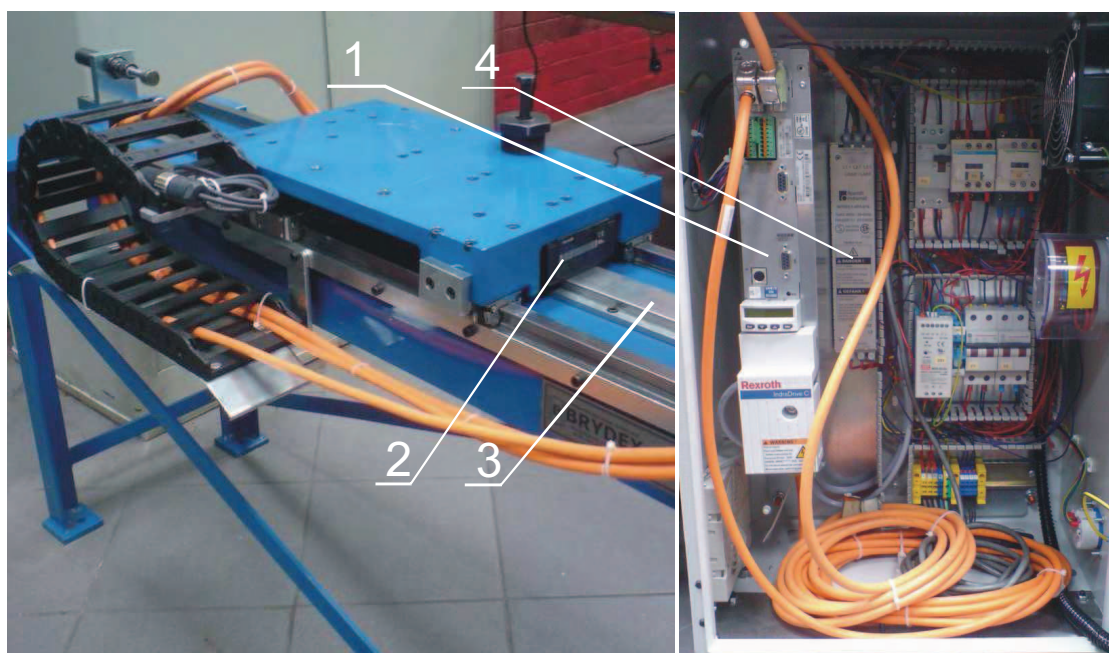
### 1. Opis stanowiska z napędem liniowym indradrive®

Napęd IndraDrive® jest zintegrowanym systemem składającym się z elementów sprzętowych takich jak: moduły mocy, moduły sterujące, silniki i elementy dodatkowe, pracujących pod kontrolą specjalistycznego oprogramowania.

Głównym elementem stanowiska laboratoryjnego jest silnik liniowy typu IndraDyn L składający się z elementu podstawowego typu MLP040B-0150 oraz dwóch elementów dodatkowych typu MLS040S – 600. Silnik IndraDyn L jest liniowym silnikiem synchronicznym, w którym element podstawowy, zawierając zespół trójfazowych uzwojeń, jest częścią zasilaną, natomiast elementy dodatkowe stanowią zespół magnesów trwałych.

Silnik liniowy stanowi niejako „rozwinięcie” silnika obrotowego na płaszczyznę, przy czym zasilany element podstawowy („primary”), zwany induktorem, jest odpowiednikiem stojana, natomiast odpowiednikiem wirnika jest element dodatkowy („secondary”), zwany bieźnikiem [1]. Aby zapewnić właściwą komutację silnika, umożliwiającą m.in. jego płynne ruszanie z miejsca, silnik musi być zaopatrzony w czujnik Halla typu SHL 01.1 [2]. Silnik liniowy jest zabudowany w konstrukcji nośnej stanowiska, pokazanej na rys. 1. Zadaniem konstrukcji nośnej jest powiązanie w funkcjonalną całość elementów napędu oraz umożliwienie przesuwania się elementu podstawowego (induktora) tuż ponad elementami dodatkowymi (bieźnikami). W tym celu stanowisko zaopatrzone w przesuwny stół, do

którego przymocowano element podstawowy wraz z czujnikiem Halla typu SHL 01.1, oparty na czterech wózkach tocznych współpracujących z prowadnicami tocznymi. Jeden z wózków zaopatrzony został w czujnik położenia (typ R1653 222 20 01 03 3000 01 01), listwa pomiarowa została zabudowana w prowadnicy tocznej typu R1605 262 31 01 03 1000 900. Pozostałe trzy wózki toczne (typ R1653) oraz druga prowadnica (typ 1605) są standardowe. Przesunięcie stołu jest ograniczone mechanicznie zderzakami końcowymi z tłumieniem typu 370-MA produkcji Bosch Rexroth. Spawano-skręcana konstrukcja nośna stanowiska została zbudowana z profili walcowanych na gorąco, przy czym powierzchnie płyty podstawy, na których oparto prowadnice i bieżnik silnika, obrabiono szlifowaniem.



*Rys.1. Stanowisko laboratoryjne z silnikiem liniowym typu IndraDyn L*

*Fig.1. Laboratory stand with linear motor type IndraDyn L*

## 2. Opis napędu w stanowisku laboratoryjnym

Napęd IndraDrive® zabudowany na stanowisku laboratoryjnym (rys. 1) składa się z:

- modułu mocy HCS02.1E-W0028 ( $N_{ZN} = 4 \text{ kW}$ ,  $I_{out\_cont1} = 11 \text{ A}$ ,  $I_{out\_max} = 28 \text{ A}$ , poz. 1),
- modułu sterującego CSB 01.1C zintegrowanego z modułem mocy (interfejs PROFIBUS),
- silnika liniowego z induktorem typu MLP040B-0150 (poz. 2) oraz dwoma bieżnikami typu MLS040S – 600 (poz. 3, w celu realizacji większych przemieszczeń składa się bieżnik z wymaganej ilości modułów typu MLS o odpowiednio przyjętych długościach – od strony silnika nie ma ograniczeń jeżeli chodzi o zakres przemieszczeń),
- czujnika Halla typu SHL 01.1 zapewniającego komutację silnika,
- dławika sieciowego HNL 01.1E ograniczającego zakłócenia (poz. 4),
- elementów dodatkowych (zasilacza 24 VDC, styczników, krańcówek, przełączników sieciowych itp.).

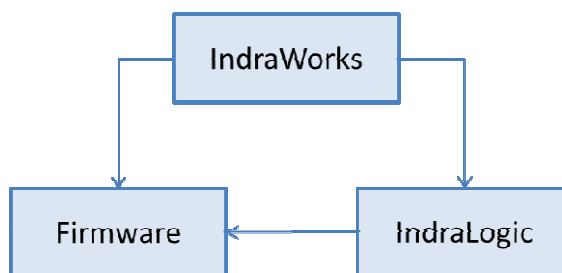
Podstawowe parametry mechaniczne silnika MLP040B-0150 to [2]:

- siła nominalna  $F_{dN} = 370 \text{ N}$
- siła maksymalna  $F_{max} = 1150 \text{ N}$
- prędkość nominalna  $v_N = 300 \text{ m/min}$
- dopuszczalna prędkość dla  $F_{max}$   $v_{Fmax} = 150 \text{ m/min}$
- siła przyciągania induktora i bieźnika  $F_{ATT} = 1700 \text{ N}$
- masa induktora  $m_{PS} = 6,1 \text{ kg}$
- masa kompletnego stołu (z ind.)  $m = 30 \text{ kg}$

Powyższe parametry pozwalają na realizację ruchów stołu z bardzo dużymi wartościami przyspieszeń (do  $38 \text{ m/s}^2$ ).

### 3. Oprogramowanie współpracujące z napędami serii IndraDrive

Hierarchię oprogramowania współpracującego z napędami IndraDrive ilustruje rys. 2. Oprogramowanie sprzętowe (firmware) nie jest dostępne dla użytkownika, jego zadaniem jest realizacja podstawowych funkcji napędu. Oprogramowanie sprzętowe napędów IndraDrive jest dobierane w zależności od przeznaczenia napędu (od pakietu podstawowego – dla napędu z otwartą lub zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego po pakiet IndraMotion MLD, realizujący logikę sterowania przemieszczeniami zgodnie z normą IEC 61131-3).



Rys.2. Hierarchia oprogramowania napędów IndraDrive  
Fig.2. Hierarchy of software drives IndraDrive

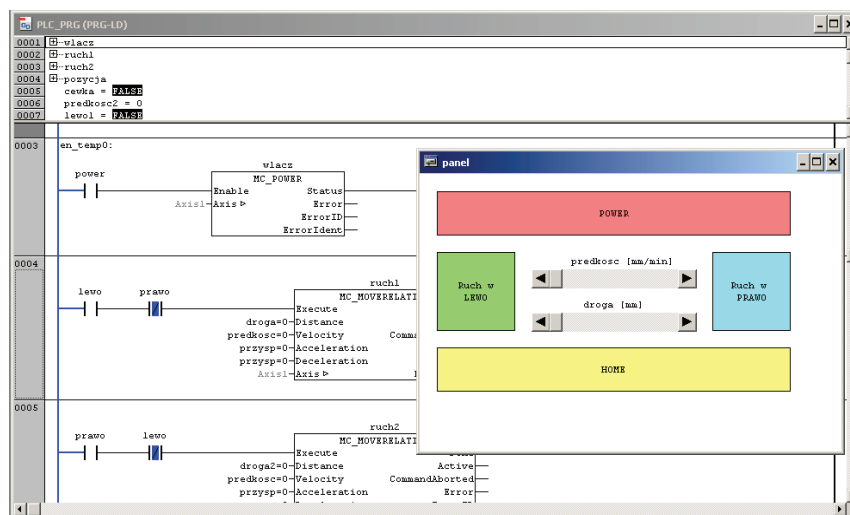
Oprogramowanie sprzętowe (firmware) nie jest dostępne dla użytkownika, jego zadaniem jest realizacja podstawowych funkcji napędu. Oprogramowanie sprzętowe napędów IndraDrive jest dobierane w zależności od przeznaczenia napędu (od pakietu podstawowego – dla napędu z otwartą lub zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego po pakiet IndraMotion MLD, realizujący logikę sterowania przemieszczeniami zgodnie z normą IEC 61131-3). Użytkownik rozpoczyna pracę z napędem, korzystając z najwyższego w hierarchii pakietu IndraWorks, umożliwiającego konfigurację, programowanie, parametryzację, obsługę maszyn i urządzeń, wizualizację i diagnostykę napędu. Okno programu IndraWorks pokazano na rys. 3. W górnej części okna programu IndraWorks tradycyjnie umieszczono rozwijalne menu oraz paski narzędzi, główna część okna podzielona jest na trzy pola. Po lewej stronie uwidoczniła jest struktura logiczna napędu w postaci „drzewa”, po prawej użytkownik ma do dyspozycji



zadaniem prostym z uwagi na jego zgodność z oprogramowaniem CoDeSys. W pakiecie IndraLogic użytkownik może przygotować program dla sterownika PLC w językach: IL, LD, FBD, SFC, ST i CFC. Na rys. 4 pokazano okno programu IndraLogic z przykładowym programem PLC w języku drabinkowym (LD).

Realizacja funkcji napędu (włączenie zasilania – MC\_POWER, realizacja przemieszczenia – MC\_MOVERELATIVE itp.) może być wywołana zmianami stanów wejść sterownika napędu, deklarowanych w środowisku IndraWorks.

W środowisku IndraLogic można też wymusić zmiany stanów „styków” obrazujących zmienne wejściowe, klikając na styk przyciskiem myszki z przytrzymaniem klawisza „F7”, ale takie rozwiązanie nie ułatwia obsługi stanowiska laboratoryjnego. Znacznie bardziej ergonomicznym rozwiązaniem jest operowanie napędem IndraDrive za pomocą wirtualnego panelu operatorskiego, działającego w środowisku IndraLogic. Przygotowanie panelu operatorskiego (rys. 5) w systemie IndraLogic nie jest pracochłonne, istotne jest powiązanie elementów wizualizacji (panelu) z elementami programu PLC poprzez odpowiednie zdefiniowanie zmiennych.

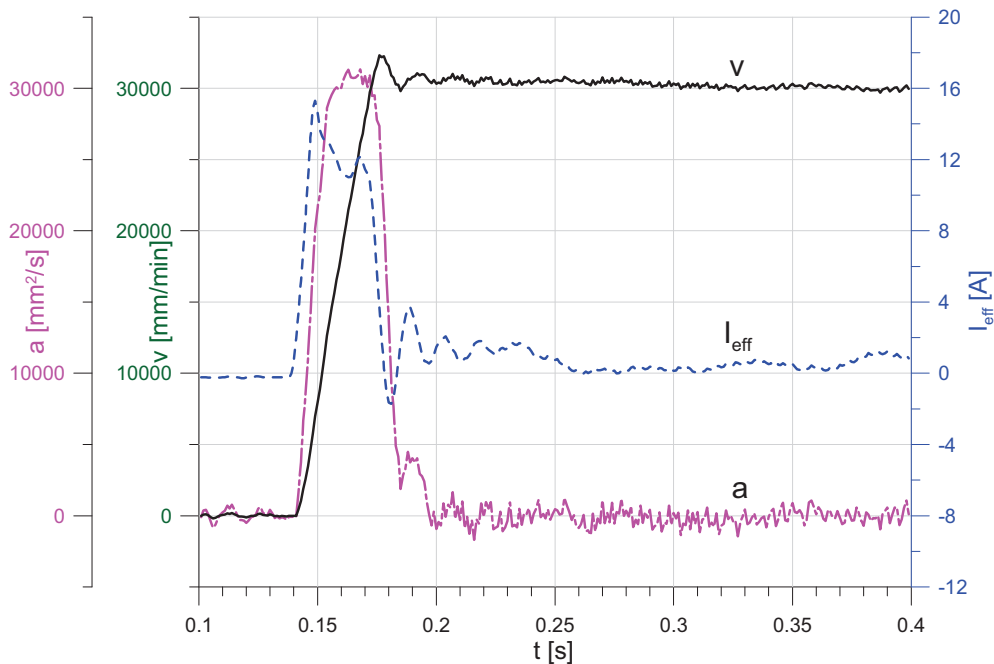


Rys.5. Prosty wirtualny panel operatorski  
Fig.5. A simple virtual operator panel

Elementami panelu mogą być „przyciski” bistabilne (przycisk *POWER* na rys. 5) lub „przyciski” monostabilne (*Ruch w LEWO*, *Ruch w PRAWO*) – za ich pomocą można zmieniać stany zmiennych logicznych (BOOL). Wartości prędkości czy przemieszczenia muszą być wprowadzone jako zmienne liczbowe (REAL) np. przy pomocy suwaków.

## 5. Rozruch i hamowanie silnika IndraDyn L

Badanie dynamiki napędu IndraDrive z silnikiem liniowym IndraDyn L można zrealizować na podstawie analizy przebiegów rozruchu i hamowania silnika. Na rys. 6 pokazano przykładowe przebiegi wielkości kinematycznych i wartości skutecznej prądu silnika zarejestrowanych dla przemieszczenia z zadanymi wartościami prędkości i przyspieszeń.



Rys.6. Przebiegi zarejestrowane podczas rozruchu silnika  
 Fig.6. Output function during motor starting

## 6. Podsumowanie

Przedstawiony napęd IndraDrive charakteryzuje się prostą konfigurowalnością i łatwą obsługą. Dodatkowo dzięki zastosowaniu silnika liniowego IndraDyn L jest on bardzo dynamiczny, może realizować ruch z przyspieszeniem (opóźnieniem) rzędu  $30 \text{ m/s}^2$  (rys. 6).

## Literatura

1. Kosmol J.: Automatyżacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. Warszawa: WNT, 1995.
2. Praca zbiorowa: Rexroth IndraDrive oraz Rexroth IndraDyn-ewolucja w technice napędów. Bosch Rexroth AG 2005 (71-511PL/05-11-A03-SM)

## LABORATORY STAND FOR TESTING INDRADRIVE<sup>®</sup> DRIVE SYSTEM WITH INDRADYN L<sup>®</sup> LINEAR ENGINE

**Summary:** In this paper a laboratory stand for research of synchronous linear engine is presented. Complete electric drive type IndraDrive, manufactured by Bosch-Rexroth, mounted on the frame of test stand, consists of: synchronous linear engine IndraDyn L with Hall sensor box, power unit, control unit, ball rail system with integrated position measurement system and auxiliary components. Configuration, programming, parametrization and diagnostics of the drive are realized with IndraWorks software environment. Motion control of drive can be realized using the virtual panel of IndraLogic program. In the paper a position, velocity, acceleration and effective current of linear motor in a transient state were showed.