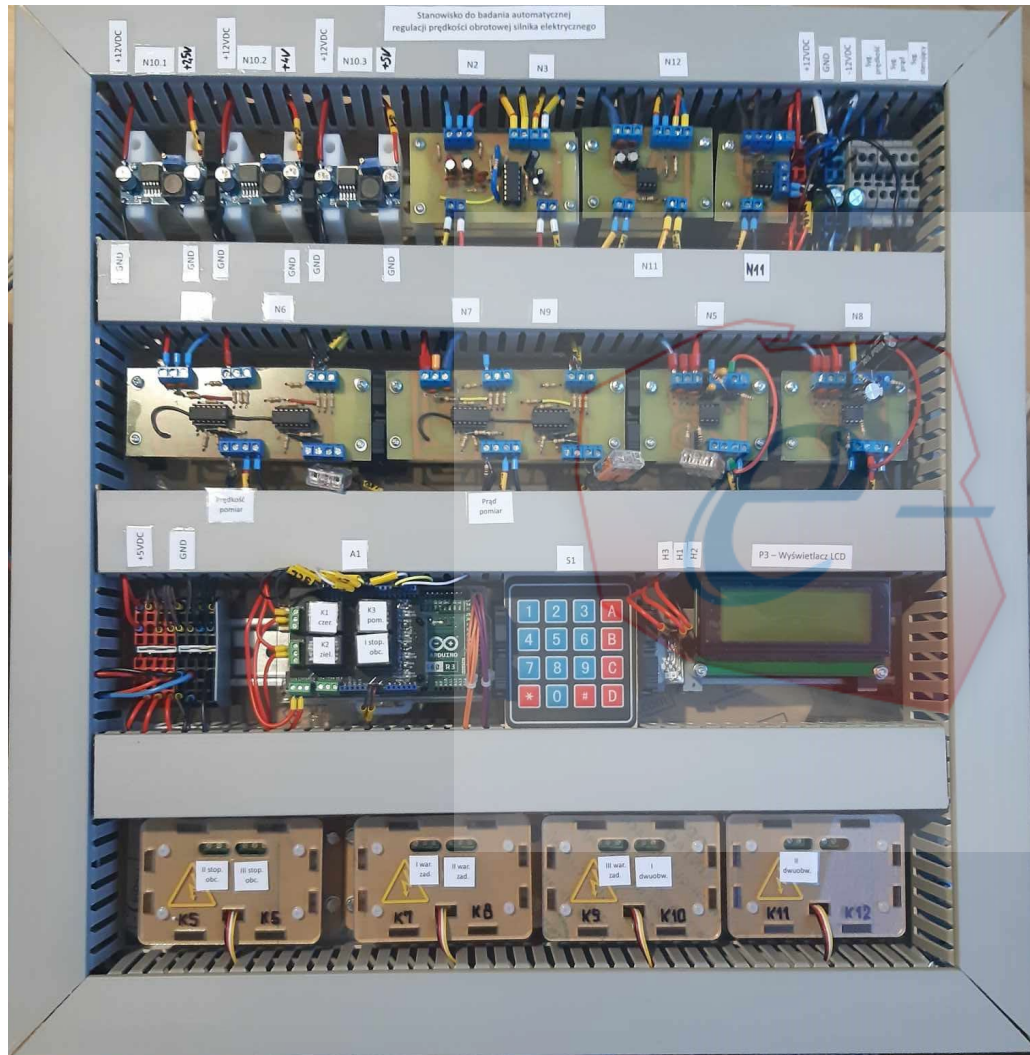


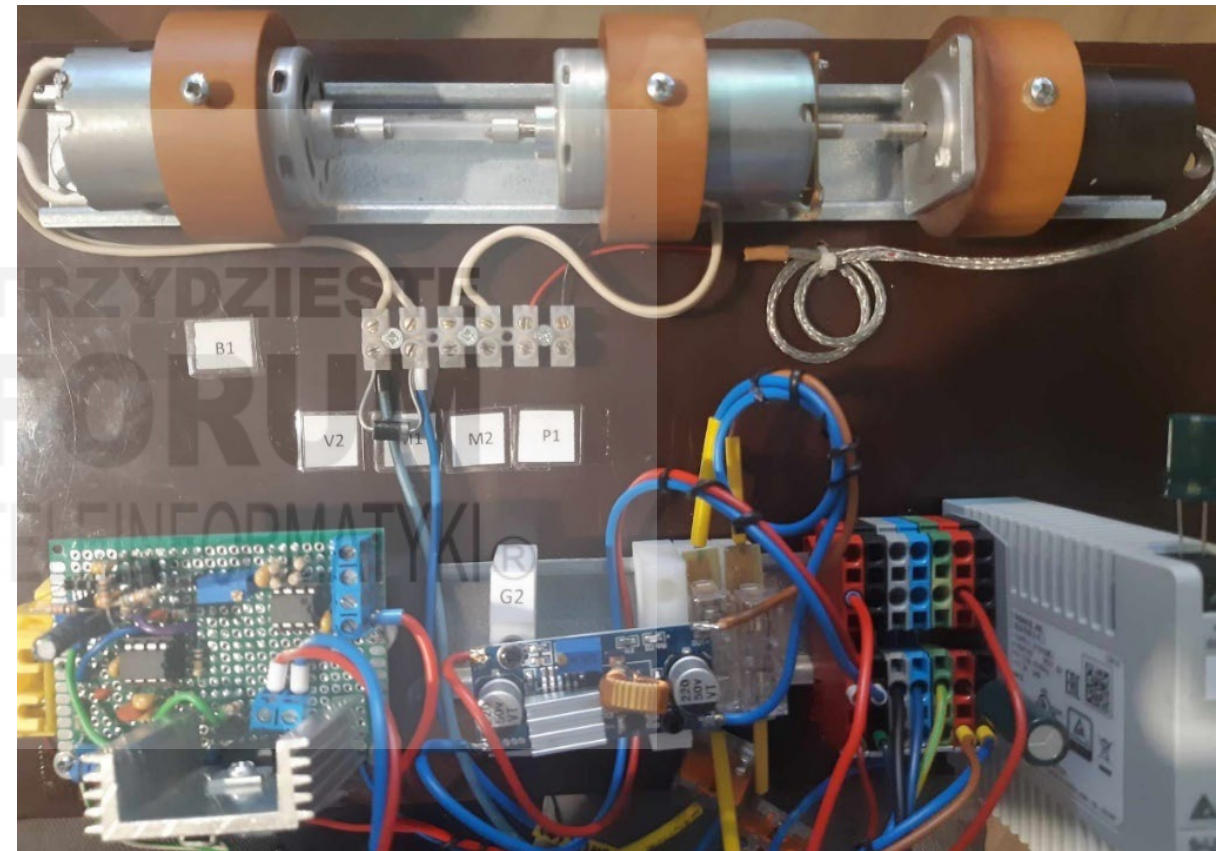


Stanowisko do badania automatycznej regulacji prędkości obrotowej silnika elektrycznego

Autor: inż. Filip Mazurek
Promotor: dr hab. inż. Jarosław Joostberens, prof. PŚ



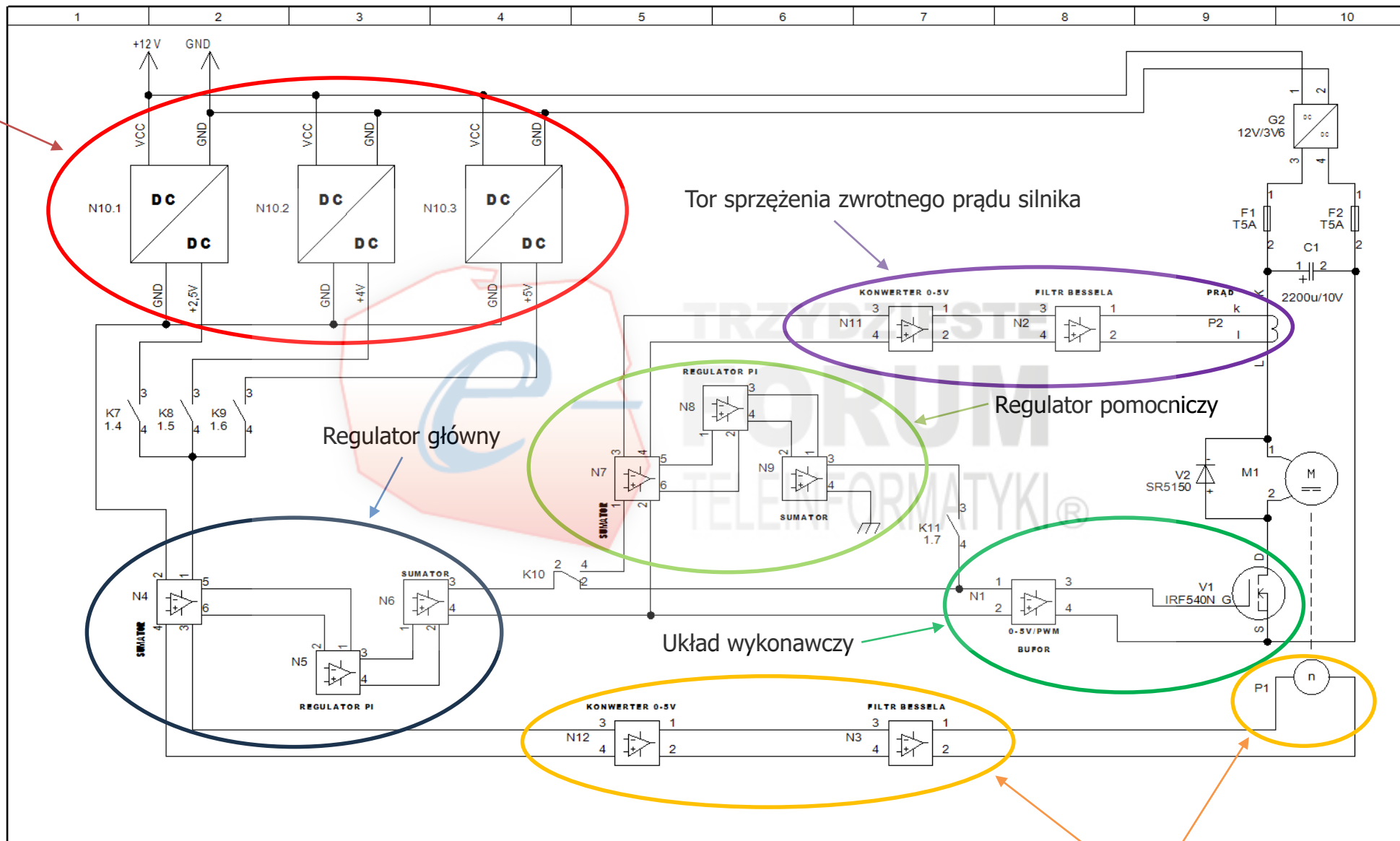
Część układu sterowania



Część silnoprądowa układu

Główny schemat automatycznej regulacji prędkości obrotowej

Wartości zadane



Tor sprzężenia zwrotnego prędkości obrotowej

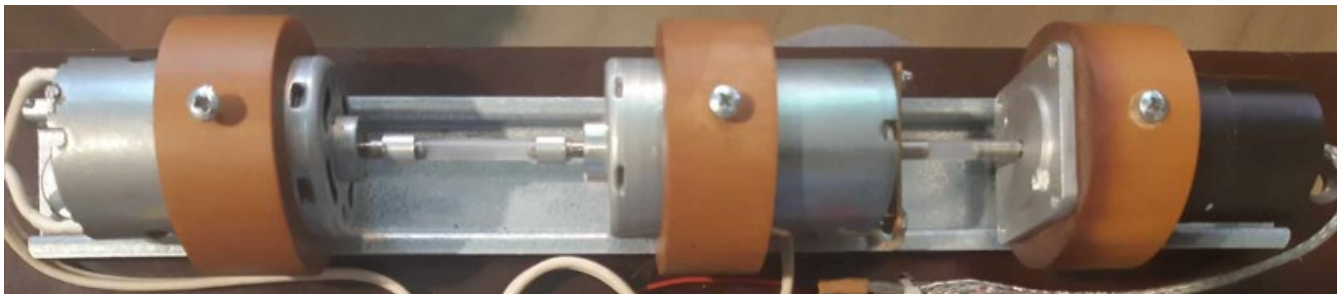
Układ automatycznej regulacji prędkości obrotowej silnika elektrycznego może pracować w dwóch układach jedno- oraz dwuobwodowym

Pomiar, regulator główny i tor sprzężenia zwrotnego prędkości obrotowej:

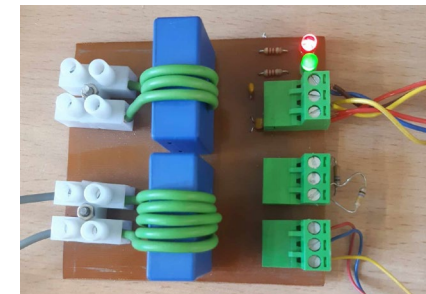
- Tachogenerator – P1
- Filtr Bessela 3 rzędu – N3
- Konwerter poziomu napięcia 0-5 V – N12
- Sumator uchybu oraz członu proporcjonalnego i całkującego regulatora – N4, N6
- Regulator PI – N5

Pomiar, regulator pomocniczy i tor sprzężenia zwrotnego prądu silnika:

- Pomiar czujnikiem typu LEM – P2
- Filtr Bessela 3 rzędu – N2
- Konwerter poziomu napięcia 0-5 V – N11
- Sumator uchybu oraz członu proporcjonalnego i całkującego regulatora – N7, N9
- Regulator PI – N8
- Przekładniki załączające układ dwuobwodowy – K10, K11
- Konwerter 0-5 V/PWM oraz bufor MOSFET – N13



Widok: silnika napędowego M1, prądnicy hamującej M2, tachogenerators P1



Widok: czujnika pomiaru prądu silnika typu LEM P2

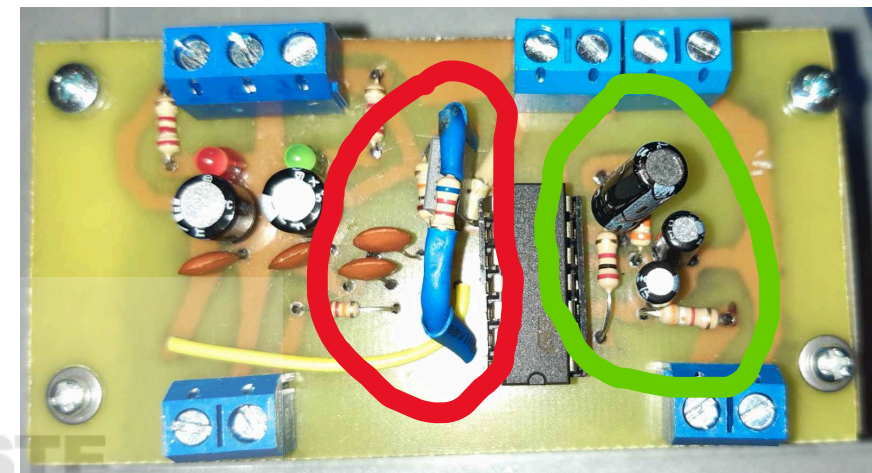
Filtry Bessela 3 rzędu o:

- $f_p = 3\text{Hz}$ (prędkość obrotowa),
- $f_p = 100\text{Hz}$ (prąd silnika).

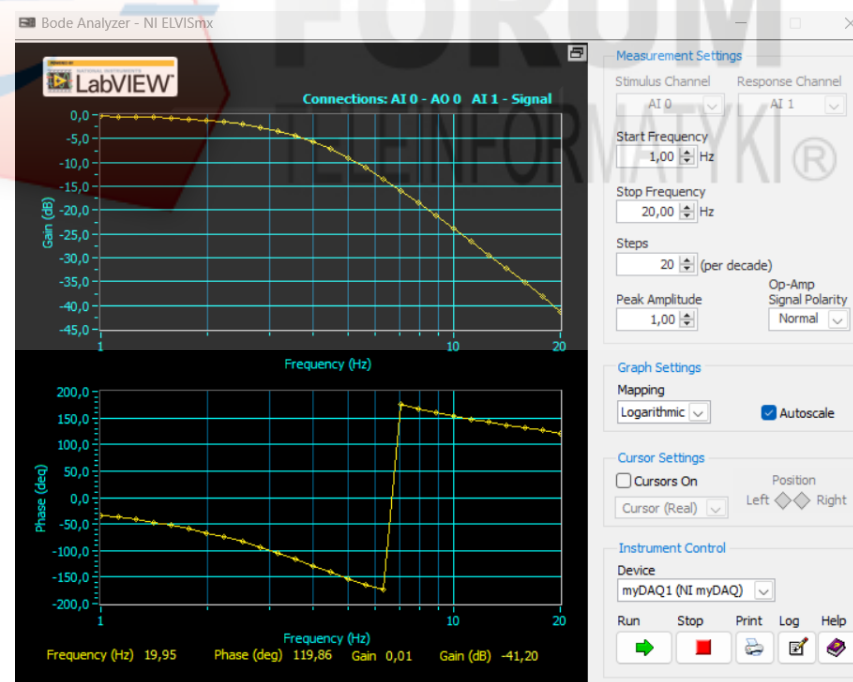
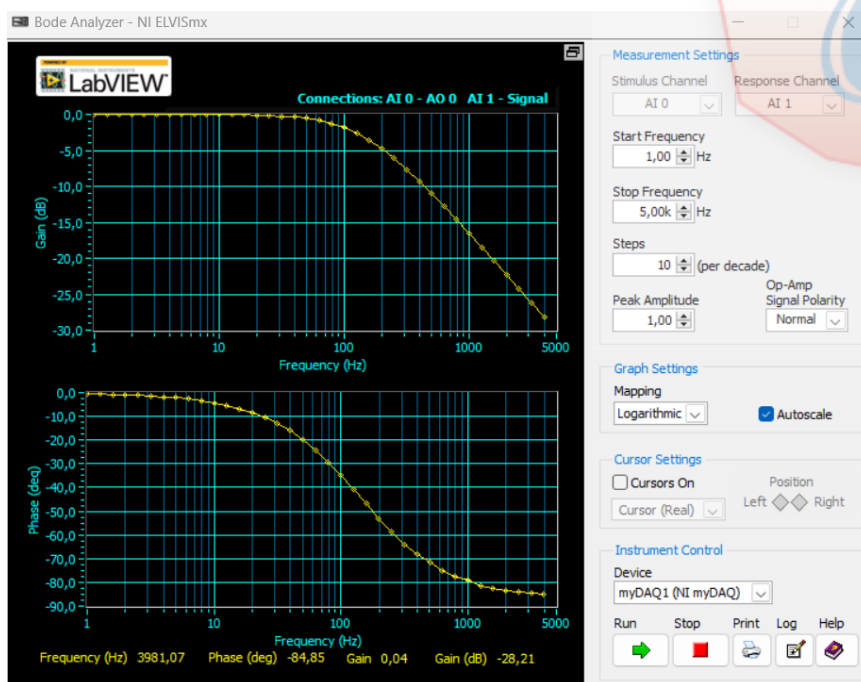
Charakterystyki logarytmiczne Bodego

**FILTR
PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ**

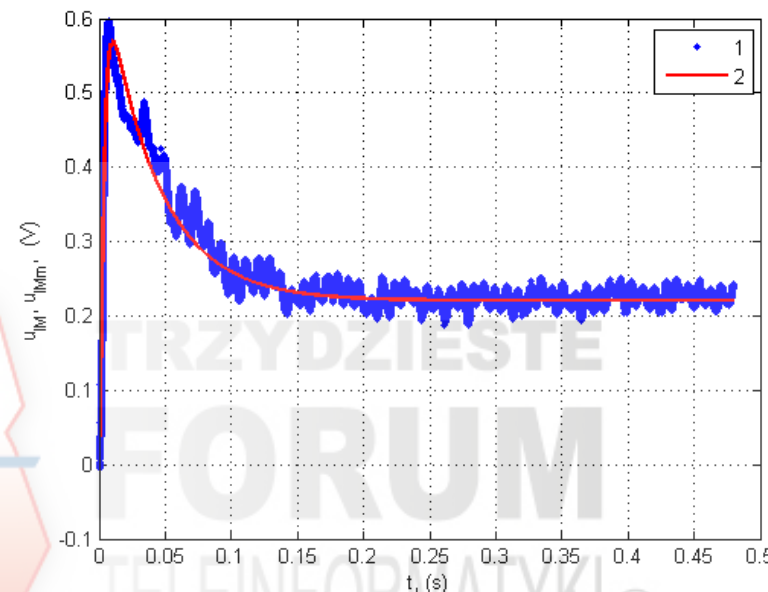
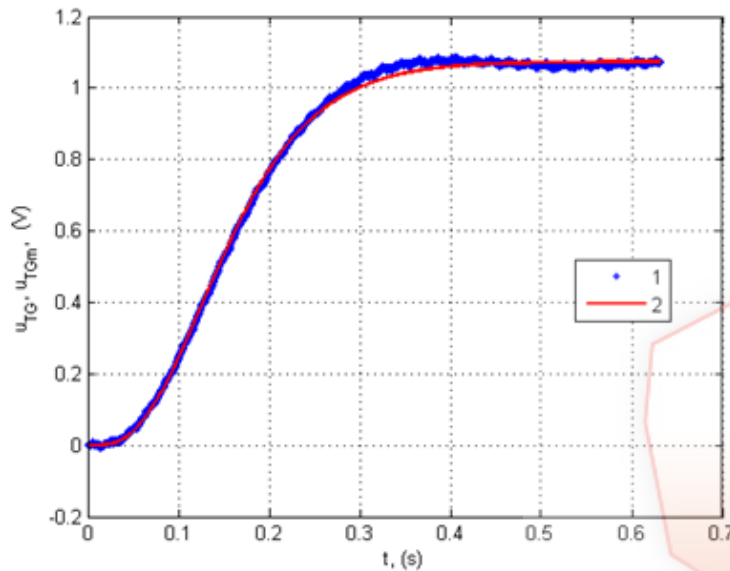
**FILTR
PRĄDU SILNIKA**



Widok płytki filtrów analogowych z zaznaczonymi filtrami sygnałów prędkości obrotowej oraz prądu silnika



Równanie obiektu dla prędkości obrotowej oraz prądu silnika z filtrem analogowym



$$K_{11}(s) = \frac{k_{11}}{(sT_Z + 1)^n} = \frac{1.02}{(s0.04 + 1)^4}$$

$$K_{12}(s) = \frac{k_1 \cdot s + k_2}{(sT_{Z1} + 1)(sT_Z + 1)^{m-1}} = \frac{0.01 \cdot s + 0.13}{(s0.04 + 1)(s0.002 + 1)^2}$$

Gdzie:

k_{11} – wzmacnienie modelu obiektu o strukturze elementu inercyjnego n-tego rzędu,

T_Z – stała czasowa modelu obiektu o strukturze elementu inercyjnego n-tego rzędu,

n – rząd modelu.

Gdzie:

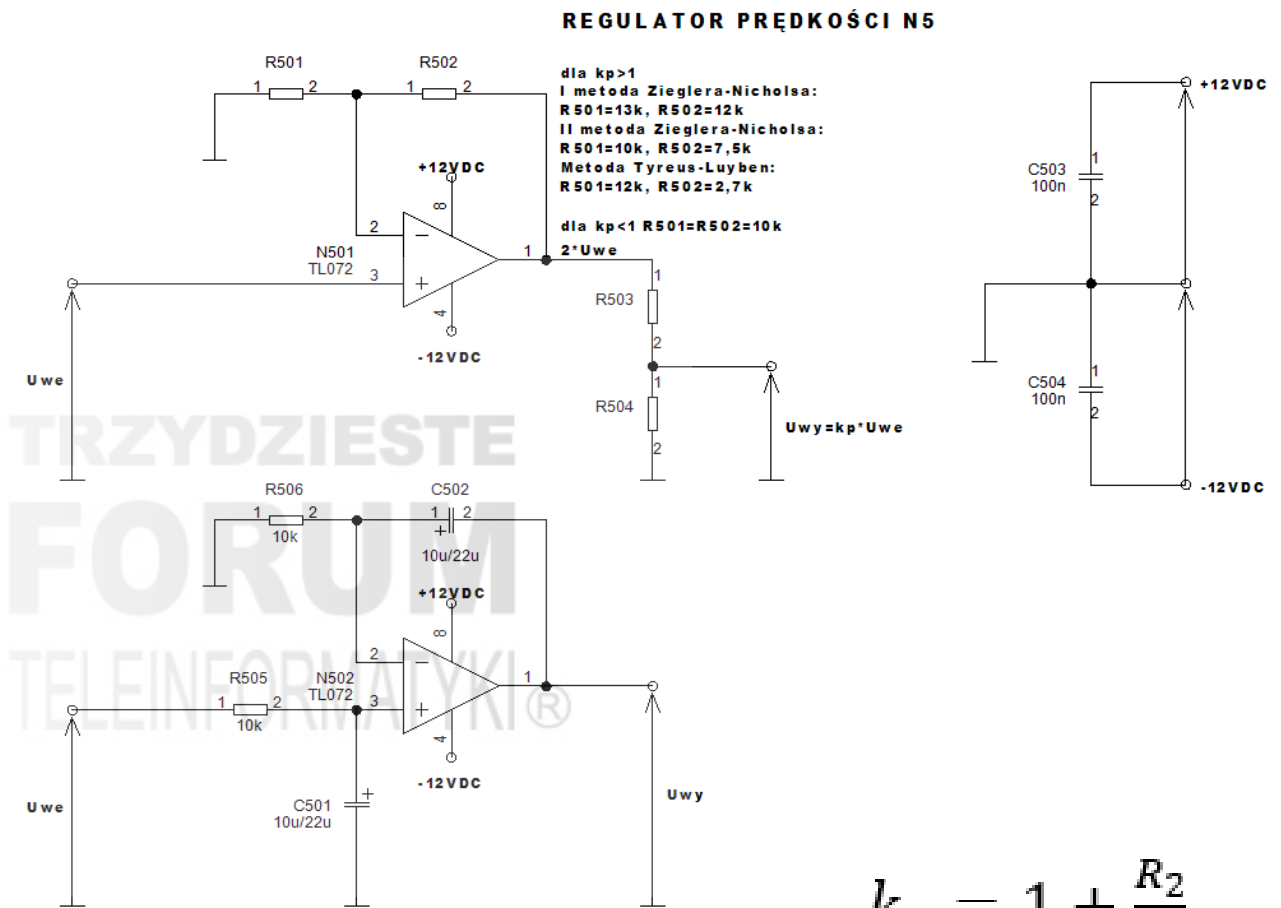
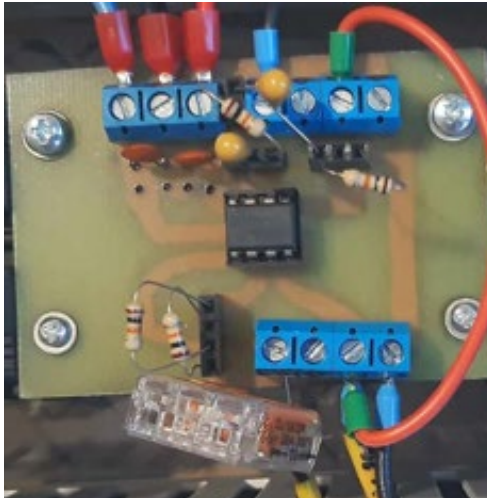
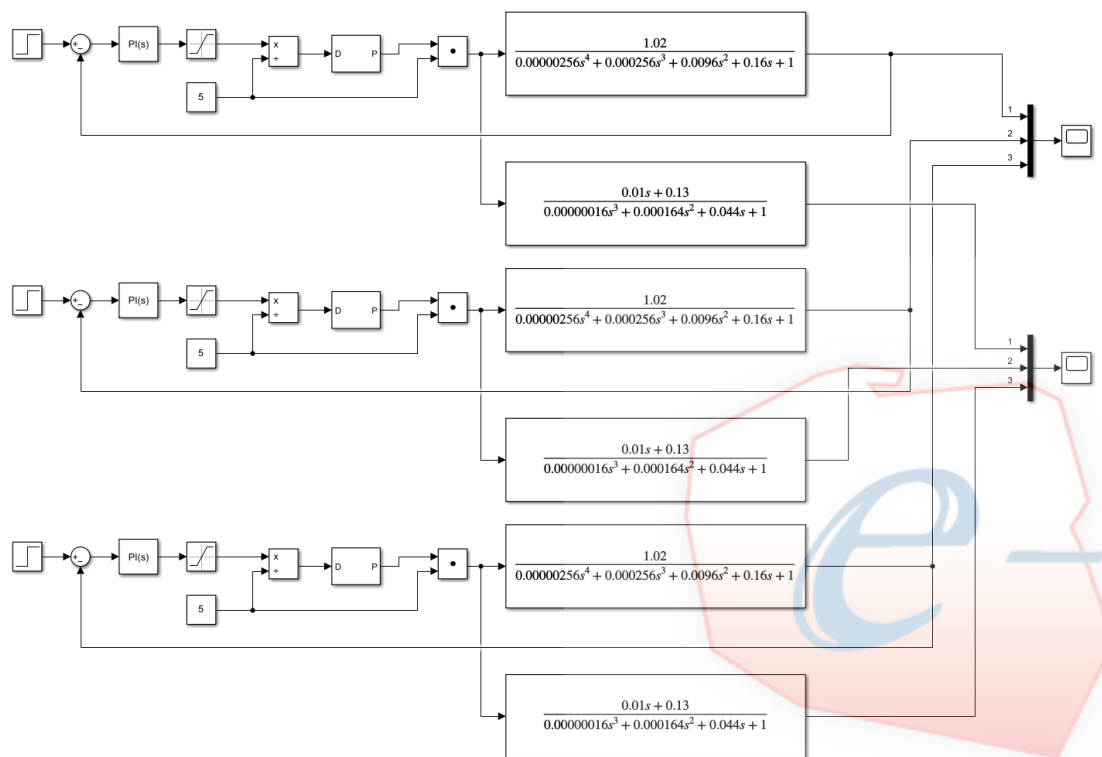
k_1 – wzmacnienie członu różniczkującego transmitancji operatorowej, będącej stosunkiem transformat prądu silnika i napięcia zasilającego,

k_2 – wzmacnienie statyczne transmitancji operatorowej, będącej stosunkiem transformat prądu silnika i napięcia zasilającego,

T_{Z1}, T_Z – stała czasowa modelu obiektu o strukturze elementu inercyjnego n-tego rzędu,

m – rząd modelu.

Regulator PI prędkości obrotowej

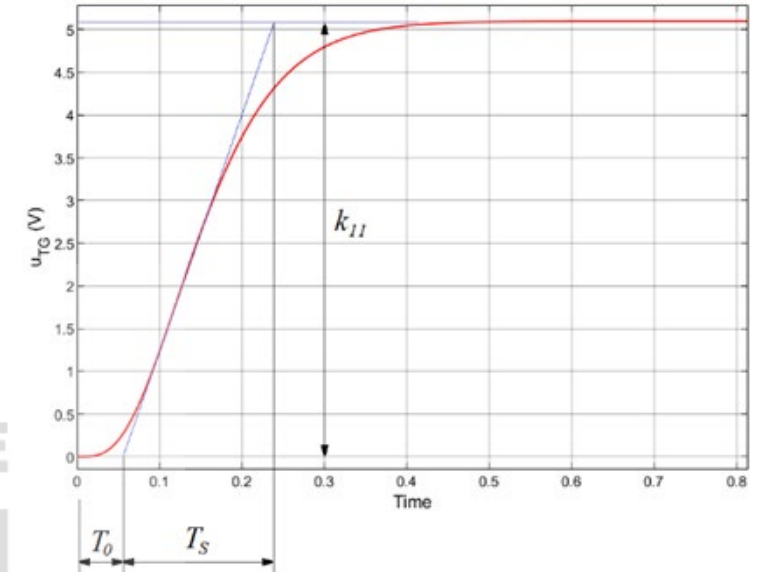


$$k_p = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i} = \frac{k_p}{RC}$$

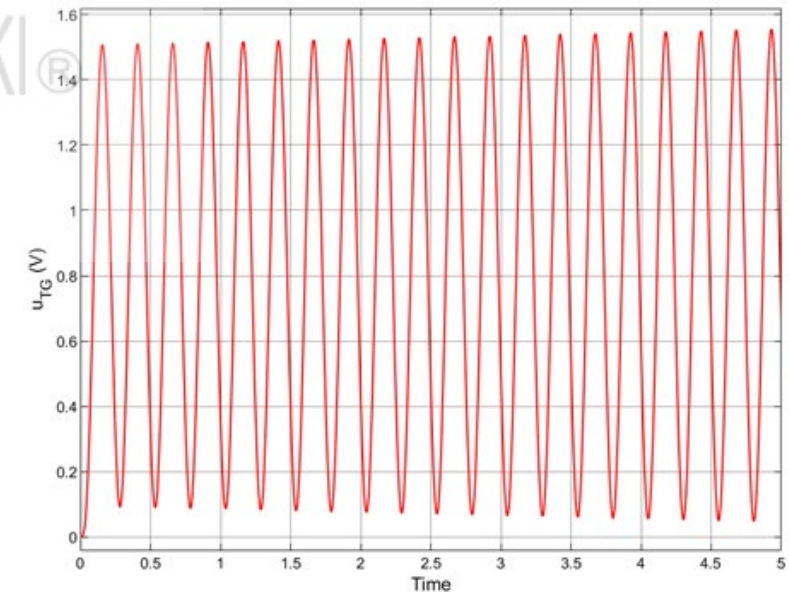
- I metoda Zieglera-Nicholsa

Regulator	k_p	T_i	T_d
P	$\frac{0,3}{a\tau}$	-	-
PI	$\frac{0,6}{a\tau}$	$0,8\tau + 0,5T_s$	-
PID	$\frac{0,95}{a\tau}$	$2,4\tau$	$0,4\tau$



- II metoda Zieglera-Nicholsa

Regulator	k_p	T_i	T_d
P	$0,5k_u$	-	-
PI	$0,45k_u$	$0,85T_u$	-
PID	$0,6k_u$	$0,5T_u$	$0,125T_u$



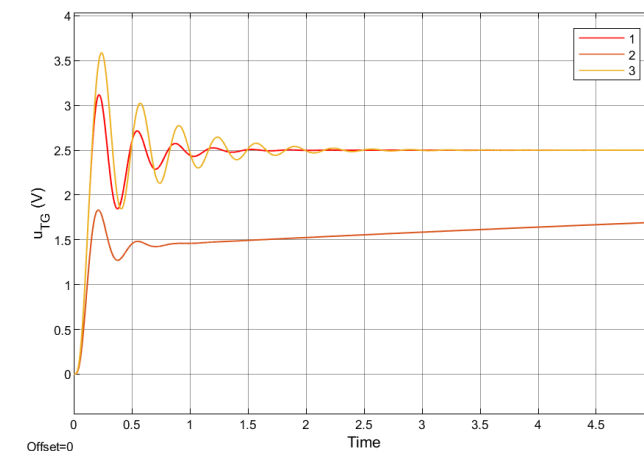
- Metoda Tyreusa-Luybena

Regulator	k_p	T_i	T_d
PI	$\frac{k_u}{3,2}$	$\frac{2,2}{T_u}$	-
PID	$\frac{k_u}{3,2}$	$\frac{2,2}{T_u}$	$\frac{1}{6,3T_u}$

Metoda nastaw regulatora pomocniczego prądu silnika	Wartość zadana	Prędkość obrotowa zadana	Napięcie odczytane	Prędkość obrotowa odczytana	Przeregulowanie	Czas regulacji
	u_{TG}	n_{TG}	u_{TG}	n_{TG}	χ	t_r
	V	obr/min	V	obr/min	%	s
I Zieglera Nicholosa	2,5	1250	2,52	1140	37,0	2,4
I Zieglera Nicholosa	4,0	2000	3,95	1975	11,5	1,2
I Zieglera Nicholosa	5,0	2250	4,34	2170	10,6	0,3
II Zieglera Nicholosa	2,5	1250	2,3	1150	26,9	1,0
II Zieglera Nicholosa	4,0	2000	3,92	1960	12,3	1,0
II Zieglera Nicholosa	5,0	2250	4,47	2235	2,1	0,3
Tyreus-Luyben	2,5	1250	1,75	875	37,3	24,0
Tyreus-Luyben	4,0	2000	3,06	1530	2,1	23,0
Tyreus-Luyben	5,0	2250	4,11	2055	5,1	22,5

Wybrane wyniki badań testowych dla wartości zadanej 2,5 V:

1 – II metoda Zieglera-Nicholosa, 2 – metoda Tyreusa-Luybena, 3 – I metoda Zieglera-Nicholosa



- stanowisko do badania automatycznej regulacji prędkości obrotowej silnika elektrycznego, spełnia wszystkie założenia koncepcyjne, umożliwiając zasymulowanie na stanowisku laboratoryjnym różne procesy zachodzące w rzeczywistych **warunkach przemysłowych**:
 - zmianę momentu obciążenia,
 - zmianę wartości zadanej – regulację prędkości obrotowej,
 - zaszumienie pomiarowego toru sprzężenia zwrotnego,
 - nastawianie nastaw regulatora układu napędowego.
- sygnały z czujnika prędkości obrotowej jak i prądu obarczone są istotnym szumem przez co potrzebne było zastosowanie **filtrów analogowych**,
- wyniki badań stanowiskowych wykazały **wyraźną zbieżność** z rezultatami symulacji *Model-in-the-loop*,
- **najlepsze wyniki** uzyskano przy zastosowaniu metody drgań granicznych Ziglera-Nicholsa, a najgorsze w przypadku użycia metody Tyreusa-Luybena,
- **precyzyjna regulacja ciągła** poprzez zastosowanie układów scalonych, zamiast regulacji dyskretniej.